



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN RELACIÓN A LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DEL LAGO SAN PABLO, CANTÓN OTAVALO

Trabajo de titulación para obtener el título de Ingeniero/a en Recursos Naturales
Renovables

AUTORAS: Daniela Patricia Cuarán Mejía
Karina Mishell Ruiz Guerrero

DIRECTOR: Ing. Delia Elizabeth Velarde Cruz Msc.

Julio 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN RELACIÓN A LOS
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MACROINVERTEBRADOS
BENTÓNICOS DEL LAGO SAN PABLO, CANTÓN OTAVALO**

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa a la obtención del
Título de:

INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Elizabeth Velarde MSc

DIRECTORA

FIRMA

Ing. Eleonora Layana MSc

ASESORA

FIRMA

Ing. Tania Oña MSc

ASESORA

FIRMA

IBARRA-ECUADOR

JULIO, 2019



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004471627		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cuarán Mejía Daniela Patricia		
DIRECCIÓN:	Los Ceibos Río Daule 1-59 Río Curaray		
EMAIL:	patycuaranm@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062959689	TELÉFONO MÓVIL:	0997753505

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003399555		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ruiz Guerrero Karina Mishell		
DIRECCIÓN:	Maldonado y Borrero 5-51		
EMAIL:	karina_4e@hotmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL	0994658118

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN RELACIÓN A LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DEL LAGO SAN PABLO, CANTÓN OTAVALO”
AUTORAS:	Cuarán Mejía Daniela Patricia Ruiz Guerrero Karina Mishell
FECHA: DD/MM/AAAA	02/05/2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingenieras en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Elizabeth Velarde MSc

2. CONSTANCIA

Las autoras manifiestan que la obra de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros. Ibarra, 01 de julio de 2019

LAS AUTORAS



Cuarán Mejía Daniela Patricia



Ruiz Guerrero Karina Mishell

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Nosotras, CUARÁN MEJÍA DANIELA PATRICIA, con cédula de identidad Nro. 1004471627 y RUIZ GUERRERO KARINA MISHELL, con cédula de identidad Nro. 1003399555, manifestamos la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, Artículo 4,5 y 6, en calidad de autores de la obra de trabajo de grado denominada **“EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN RELACIÓN A LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DEL LAGO SAN PABLO, CANTÓN OTAVALO”** que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingenieros en Recursos Naturales Renovables en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad Facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.



Cuarán Mejía Daniela Patricia
CI:1004471627



Ruiz Guerrero Karina Mishell
CI: 1003399555

Ibarra, 1 de julio del 2019

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por las señoritas CUARÁN MEJÍA DANIELA PATRICIA, con cédula de identidad Nro. 1004471627 y RUIZ GUERRERO KARINA MISHELL, con cédula de identidad Nro. 1003399555, bajo mi supervisión como director

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Elizabeth Velarde', is written over a horizontal line.

Ing. Elizabeth Velarde MSc

DIRECTORA

Ibarra, 1 de julio del 2019

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

GUÍA: FICAYA-UTN

FECHA: 01 de julio del 2019

Daniela Patricia Cuarán Mejía y Karina Mishell Ruiz Guerrero,

“EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN RELACIÓN A LOS PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DEL LAGO SAN PABLO, CANTÓN OTAVALO”. Trabajo de titulación. Ingenieras en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Ibarra, 01 de julio de 2018.

DIRECTORA: Ing. Elizabeth Velarde M.Sc.

El objetivo general de la presente investigación fue: Evaluar el estado trófico mediante el estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en relación a los parámetros físico-químicos del Lago San Pablo, cantón Otavalo. Los objetivos específicos fueron: 1) Evaluar la abundancia, riqueza, diversidad y sensibilidad de los macroinvertebrados en el Lago San Pablo. 2) Evaluar la calidad del agua mediante el análisis de los índices: EPT, BMWP/C, ABI y los parámetros físico-químicos en el área de estudio. 3) Analizar la relación de los parámetros físico-químicos con la presencia o ausencia de microorganismos bentónicos. 4) Elaborar una guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos de Lagos Altoandinos, en base a los resultados obtenidos en el Lago San Pablo.

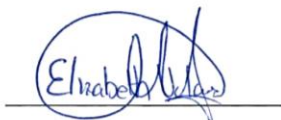
LAS AUTORAS



Cuarán Mejía Daniela Patricia



Ruiz Guerrero Karina Mishell



Ing. Elizabeth Velarde MSc

DIRECTORA

AGRADECIMIENTO

A Dios por todo el apoyo que nos has dado durante los años que hemos venido haciendo nuestra carrera profesional, pues sin su ayuda y la fe que tenemos en él no lo hubiéramos logrado.

A quienes, sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarnos y educarnos. A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirnos en personas de provecho. A quienes nunca podremos pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por esto y más a nuestros padres...

Gracias Ing. Elizabeth Velarde, nuestra directora, por la predisposición, paciencia y por su confianza en ayudarnos a construir el conocimiento en el trabajo realizado.

Ing. Melissa Layana por sus sugerencias constructivas, su asesoría y aporte en el desarrollo del presente.

Ing. Tania Oña por su guía oportuna, las enseñanzas, ideas y conocimientos compartidos.

Al grupo de personas que forman parte de la cooperación binacional VLIR-UTN, y al equipo LABINAM, en especial a Jorge R., Lenin R y Rodrigo Ch. los cuales formaron parte esencial de todo el desarrollo que hizo posible este trabajo.

A nuestros familiares, amigos, compañeros y conocidos que han aportado con un consejo o brindándonos ánimo ante las adversidades en especial a Saúl A. por su aporte y conocimiento en las salidas de campo realizadas.

DEDICATORIA

A Dios y a mi madre Eugenia M, por su apoyo, cariño, disciplina y valores, le agradezco por este regalo tan grande “educación”, siempre estaré en deuda, esta es una meta que alcanzamos juntas.

A mis hermanas que han sido mi ejemplo de perseverancia y que con sus palabras y consejos me ayudaron a cumplir este gran triunfo

A mi mejor amiga y compañera de investigación Karina R, que siempre me ha demostrado su amor y su amistad con sus consejos y apoyo incondicional; y a pesar de las complicaciones y dificultades siempre prevaleció nuestra amistad.

A mis familiares, amigas y amigos, muchas gracias por todo su afecto y constancia, son parte muy importante en mi vida, mi cariño y agradecimiento sincero para ustedes.

Patricia Cuarán M.

DEDICATORIA

A Dios por ser mi luz, guía y fortaleza en mi vida, por darme la certeza de que con él todo es posible.

A mi madre Tania G. por ser amiga, guerrera, y el mejor ejemplo de mujer para mí, que, con su gran amor, trabajo y sacrificio, no se dejó vencer ante las dificultades me permitió realizar este sueño anhelado por las dos. Mi triunfo es tú triunfo madre mía.

A mi padre Galo R. por ser mi ángel guardián, mi motivo de lucha, y el mejor ejemplo de amor y sacrificio, sé que desde el cielo estas muy orgulloso de este sueño cumplido.

A mi abuelita Eloisa V. por su amor infinito, compañía, y entrega desinteresada.

A mi hermano Israel R. por su cariño y apoyo incondicional.

A mis tías, tíos y primos por ser mi apoyo, brindarme ánimos y demostrarme que todo es posible cuando lo haces con sacrificio, entrega y amor.

A mi mejor amiga y compañera de investigación Patricia C. por su amistad, por todas y cada una de las cosas compartidas en nuestra vida universitaria, por vencer retos juntas que nos han permitido lograr grandes metas.

A mis amigos y amigas quienes compartimos tantas experiencias buenas y malas, para lograr este sueño universitario juntos.

Karina Ruiz

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN RELACIÓN A LOS
PARÁMETROS FÍSICO- QUÍMICOS Y MACROINVERTEBRADOS
BENTÓNICOS DEL LAGO SAN PABLO, CANTÓN OTAVALO

Trabajo de titulación

Nombre de las estudiantes: Cuarán Patricia, Ruiz Karina

RESUMEN

Los lagos altoandinos representan un potencial para la supervivencia humana y conservación de especies, además de participar en los mecanismos de regulación ecológica y recarga hídrica dentro de las microcuencas de las regiones de alta montaña. El lago San Pablo ubicado en el cantón Otavalo, está siendo afectado por las actividades agropecuarias y urbanas, modificando la concentración de las variables físico-químicas, y la composición de las comunidades de macroinvertebrados. Esta investigación determinó el estado ecológico del lago mediante la utilización de macroinvertebrados como bioindicadores. Se determinó abundancia, riqueza, diversidad y sensibilidad de los macroinvertebrados, índices biológicos y se relacionó con los parámetro físico-químicos del cuerpo de agua dentro de dos épocas del año, la época lluviosa en el mes de diciembre y la época seca comprendida en el mes de agosto; se realizó un monitoreo distintivo dentro del lago en 10 puntos georeferenciados durante el año 2018. El estudio determinó 20 géneros, 18 familias y 15 órdenes de macroinvertebrados siendo la familia Gammaridae la más abundante y el orden Rhynchobdellida con mayor riqueza (7 especies). Los resultados del índice de sensibilidad determinaron que las familias Aeshnidae y Coenagrionidae presentan gran sensibilidad a cambios del ambiente. Los resultados de los índices bióticos (BMWP/Col y ABI) brindaron un valor de 64 y 52 respectivamente, reflejando que la calidad del agua está ligeramente contaminada. Para el modelo ACC los resultados determinaron que las variables que más influyen en las especies son la Conductividad Eléctrica y los Sulfatos. Finalmente se elaboró una guía y plan de monitoreo para la identificación de organismos del Lago San Pablo.

Palabras clave: bioindicador, macroinvertebrados, lago San Pablo, parámetros físico-químicos.

ABSTRACT

The High Andean lakes represent a potential for human survival and species conservation, as well as participating in the mechanisms of ecological regulation and water recharge within the micro-basins of the high mountain regions. San Pablo Lake located in the Otavalo canton, is being affected by agricultural and urban activities, modifying the concentration of physico-chemical variables, and the composition of macroinvertebrate communities. This investigation determined the ecological state of the lake through the use of macroinvertebrates as bioindicators. We determined abundance, richness, diversity and sensitivity of macroinvertebrates, biological indexes and related to the physical-chemical parameters of the body of water within two seasons of the year, the rainy season in the month of December and the dry season included in the In August, a distinctive monitoring was carried out within the lake in 10 georeferenced points during 2018. The study determined 20 genera, 18 families and 15 orders of macroinvertebrates. The Gammaridae family was the most abundant and the Rhynchobdellida order was the richest (7 species). The results of the sensitivity index determined that the Aeshnidae and Coenagrionidae families are highly sensitive to changes in the environment. The results of the biotic indexes (BMWP / Col and ABI) gave a value of 64 and 52 respectively, reflecting that the quality of the water is slightly contaminated. For the ACC model, the results determined that the variables that most influence the species are Electric Conductivity and Sulphates. Finally, a guide and monitoring plan for the identification of Lake San Pablo organisms was prepared.

Key words: bioindicator, macroinvertebrates, physicochemical parameters, San Pablo Lake.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema	1
1.2 Justificación.....	8
1.3 Objetivos	9
1.3.1 Objetivo general	9
1.3.2. Objetivos específicos	9
1.4 Pregunta(s) directriz (ces) de la investigación	9
CAPÍTULO II	10
REVISIÓN DE LITERATURA.....	10
2.1 Marco teórico referencial	10
2.1.1 Ecosistemas lénticos	10
2.1.2 Lagos y su Proceso de Eutrofización	11
2.1.3 Tipos de Evaluación de Calidad de Agua (Físico-Químicos y Biológicos). 12	
2.1.4 Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores	17
2.1.5 Tipos de Colecta.....	18
2.1.6 Índices Bióticos.....	19
2.2 Marco legal.....	25
2.2.1 Constitución política del Ecuador	25
2.2.2 Tratados internacionales.....	26
2.2.3 Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento de agua.....	26
2.2.3 Código orgánico ambiental (COA)	27
2.2.4 Texto unificado de legislación ambiental secundaria	27
CAPÍTULO III.....	28
METODOLOGÍA	28
3.1. Descripción del área de estudio.....	28
3.2. Materiales	29

3.3.1 Metodología para evaluar la abundancia, riqueza, diversidad y sensibilidad de los macroinvertebrados en el Lago San Pablo	30
3.3.2 Metodología para evaluar la calidad del agua mediante el análisis de los índices EPT Y BMWP/ Col, ABI y los parámetros Físico-Químicos en el área de estudio	37
3.3.3 Metodología para analizar la relación de los parámetros Físico-Químicos con la presencia o ausencia de microorganismos bentónicos	42
3.3.4 Metodología para elaborar una guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos de Lagos Altoandinos, en base a los resultados obtenidos en el Lago San Pablo	43
CAPÍTULO IV	44
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
4.1 Evaluación de la abundancia, riqueza, diversidad y sensibilidad de los macroinvertebrados en el Lago San Pablo	44
4.1.1 Caracterización de los puntos de muestreo	44
4.1.2 Determinación de la comunidad bentónica del Lago San Pablo	45
4.1.3 Índices de diversidad	47
4.1.4 Índices sapróbicos	52
4.1.5 Índice de sensibilidad de Carrera y Fierro	54
4.2 Evaluación de la calidad del agua mediante el análisis de los índices: EPT, BMWP, ABI y los parámetros físico-químicos en el área de estudio	56
4.2.1 Índice EPT	56
4.2.2 Índice BMWP /Col	56
4.2.3 Índice ABI	58
4.2.4. Parámetros físico- químicos	59
4.3. Análisis de la relación de los parámetros físico-químicos con la presencia o ausencia de microorganismos bentónicos	66
4.3.1. Análisis de correspondencias canónica de géneros y parámetros físico-químicos de época lluviosa y seca	66
4.4. Guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos de Lagos Altoandinos, en base a los resultados obtenidos en el Lago San Pablo	74
4.4.1 Justificación de la creación de la guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos	74
4.4.2 Objetivo de la guía y plan de monitoreo	75

4.4.3 Determinación de puntos de muestreo y frecuencia que se deben considerar en la toma de muestras	75
4.4.4 Materiales para el monitoreo de macroinvertebrados bentónicos en el Lago San Pablo.....	76
4.4.5 Tipos de colectas macroinvertebrados bentónicos	77
4.4.6 Conservación de muestras e identificación de especies en laboratorio.....	79
4.4.7 Guía de macroinvertebrados para la identificación de las respectivas especies	79
CAPÍTULO V.....	90
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
5.1 Conclusiones	90
5.2 Recomendaciones.....	91
REFERENCIAS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales utilizados en la investigación.	29
Tabla 2. Índices de Biodiversidad	32
Tabla 3. Valores de sensibilidad para las diferentes familias de Macroinvertebrados	36
Tabla 4. Índice de Sensibilidad para determinar la calidad de agua	36
Tabla 5. Categorías para análisis del Índice EPT	37
Tabla 6. Valores asignados para determinar la calidad de agua según BMWP (Biological Monitoring Working Party).	38
Tabla 7. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col, Criterios de Calidad y colores para representaciones cartográficas de corrientes.	39
Tabla 8. Clases y valores ABI, Criterios de Calidad.....	40
Tabla 9. Clases de calidad de agua, valores ABI, Criterios de Calidad	41
Tabla 10. Coordenadas puntos de Muestreo Lago San Pablo	44
Tabla 11. Índices de diversidad de la época lluviosa	49
Tabla 12. Índices de diversidad de la época lluviosa	50
Tabla 13. Índices de Diversidad de la época seca	51
Tabla 14. Índices de Diversidad de la época seca	51
Tabla 15. Índice de Saprobiidad Pantle-Buck	53
Tabla 16. Aplicación Índice de Sensibilidad.....	55
Tabla 17. Aplicación índice BMW/Col	56
Tabla 18. Índice ABI.....	58
Tabla 19. Parámetros físico-químicos lago San Pablo.....	60
Tabla 20. Parámetros físico-químicos lago San Pablo.....	61
Tabla 21. Parámetros físico-químicos lago San Pablo.....	61
Tabla 22. Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos.....	65
Tabla 23. Puntos aptos de Muestreo Lago San Pablo	76
Tabla 24. Materiales para el monitoreo de macroinvertebrados en el Lago San Pablo.....	77
Tabla 25. Métodos de colecta de macroinvertebrados bentónicos en el Lago San Pablo.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Ubicación del Lago San Pablo.....	28
Figura 2. Diagrama Ombrotérmico Lago San Pablo 1980-2015	30
Figura 3. Puntos de Muestreo Lago San Pablo	45
Figura 4. Familias presentes en la zona litoral del Lago San Pablo.....	46
Figura 5. Total de individuos presentes en cada punto de muestreo del Lago San Pablo	47
Figura 6. Variación estacional de los parámetros ambientales	62
Figura 7. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época lluviosa	67
Figura 8. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época lluviosa	68
Figura 9. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época lluviosa	69
Figura 10. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época lluviosa	70
Figura 11. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época seca	71
Figura 12. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época seca	71
Figura 13. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época seca	72
Figura 14. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época seca	73

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se da a conocer el problema de investigación, justificación y los respectivos objetivos. Además, se hace una revisión de la literatura que sirvió como línea base de la presente investigación.

1.1 Problema

A nivel global los ambientes naturales como los lagos representan un potencial importante en la conservación de especies endémicas, además de participar en los mecanismos de regulación ecológica y recarga hídrica dentro de las microcuencas de las regiones de alta montaña (Granados, Barragán, Trejo y Martínez, 2017). Por su belleza paisajística son un atractivo turístico convirtiéndose en fuente de ingresos económicos para sus pobladores, además cubren necesidades hídricas de las poblaciones humanas y sus actividades productivas. Por tal motivo los procesos de eutrofización en los ecosistemas lénticos como se denominan a los lagos han ido en constante aceleramiento en los últimos años, producto de la entrada de nutrientes aportados en gran parte por actividades antrópicas (Dodson, Arnott y Cottingham, 2000). Provocando que todos estos beneficios mencionados disminuyan por el uso inadecuado de los ecosistemas acuáticos, lo que despierta gran interés por conservar y restaurar los ecosistemas acuáticos (Acosta, Hampel, González et al., 2014).

En el ámbito regional, en 1996, la XI Reunión de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe, reconoció como el principal problema ambiental de la región, la contaminación de los ecosistemas acuáticos como ríos, lagos y franjas costeras (Escobar, 2002). En América del Sur se presenta una constante degradación de la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos debido a actividades antropogénicas tanto industriales, agrícolas, ganaderas, crecimiento urbanístico,

extracción de minerales y petróleo lo que ha provocado la disminución de la calidad y funcionalidad del agua (Carpenter et al., 1998).

En el Ecuador, la degradación de los ecosistemas acuáticos constituye un problema ambiental que no solo amenaza a microorganismos, flora y fauna propia de estos ecosistemas sino también a las poblaciones dependientes de los mismos (Cadena, 2005). El inadecuado manejo de estos ecosistemas ha generado contaminación, produciendo variaciones drásticas en sus características fisicoquímicas y biológicas. En consecuencia, resulta complicado encontrar ríos que mantengan sus condiciones ambientales originales (Arroyo, 2010).

El lago San Pablo ubicado en el cantón Otavalo, provincia de Imbabura se caracteriza por ser de gran importancia a nivel ecológico debido a su posición geográfica, convirtiéndolo en un lago altoandino (Gunkel, 2003). Siendo este un ecosistema que alberga varias especies de flora y fauna características del lugar, y también un referente turístico que genera ingresos económicos en beneficio del cantón Otavalo. El estudio de las alteraciones en la calidad del agua por la presencia de contaminantes generados por actividades antrópicas cercanas al lago, son de vital importancia ya que se está modificando las condiciones ambientales del mismo y por consecuencia el desarrollo social, económico y cultural de las comunidades aledañas (Pazmiño, 2016).

A través de los años se han desarrollado herramientas para la evaluación de la calidad de los ecosistemas fluviales (Segnini y Chacón, 2005). Las cuales permiten realizar una evaluación al estado ecológico del lago, el cual corresponde a una expresión de calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales, que considera componentes fisicoquímicos y especies bioindicadoras, para conocer el estado del ecosistema acuático (Acosta, Ríos, Rieradevall y Prat, 2009). En este sentido, los macroinvertebrados han sido ampliamente utilizados como bioindicadores de calidad de agua de los ríos altoandinos. Como su nombre lo indica, corresponden a

todos aquellos organismos que carecen de vértebras y que viven en los sistemas acuáticos. (Lange, 1994). En general, los macroinvertebrados suelen vivir adosados al fondo, sobre, entre o bajo el sustrato, y eventualmente pueden estar suspendidos en la columna de manera activa o pasiva (Lange, 1994).

Otra de las características importantes de los macroinvertebrados es que sus comunidades presentan variaciones frente al clima, para ello es imprescindible determinar época seca y lluviosa mediante la realización de un diagrama ombrotérmico que nos permita conocer de forma gráfica la relación entre precipitaciones medias mensuales (mm) y las temperaturas medias mensuales (°C) y de esta manera ver en la curva que se gráfica los meses correspondientes a las dos diferentes épocas, los datos corresponde a estaciones meteorológicas cercanas al cuerpo de agua (González, 1980). Además en el estudio de macroinvertebrados como bioindicadores la selección de puntos de muestreo, se recomienda establecer puntos con la presencia y ausencia de impactos antrópicos, también tomar en cuenta las limitaciones naturales que impiden el desarrollo normal de las comunidades bentónicas como son la presencia de quebradas, ríos tributarios, ríos con lechos de roca madre o arena, entre otros factores que son claves para comprender el funcionamiento de las comunidades bentónicas (Acosta et al., 2014).

Las comunidades de macroinvertebrados en presencia de contaminación o condiciones naturales extremas, se caracteriza por poseer un bajo número de especies, pero muchos individuos por especie, por tal razón la diversidad de la comunidad se toma como una medida de la calidad del agua del río, siendo necesaria la aplicación de índices de diversidad, para comprender su abundancia, riqueza y diversidad en las comunidades bentónicas (Roldán, 1999). Existen varios índices de diversidad que se pueden aplicar, pero los más usados son el índice de dominancia de Simpson y de diversidad de Margalef. El primero toma en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia y el segundo el número total de especies presentes sin tomar en cuenta el valor de importancia de las mismas (Moreno, 2001).

Los macroinvertebrados se han convertido en un reflejo de las condiciones existentes en los ríos y lagos debido a que poseen una gran capacidad de adaptación a los cambios en los ecosistemas acuáticos (Gómez, Donato, Giorgi, Guash y Sabater, 2009). Estos organismos se caracterizan por tener diferentes grados de tolerancia hacia la contaminación existente (Encalada, Rieradevall, Ríos, García y Prat, 2011). Los macroinvertebrados constituyen importantes comunidades biológicas que caracterizan los cursos de aguas corrientes (sistemas lóticos) en las regiones altoandinas. (Molina, Gibon, Pinto y Rosales, 2008). En consecuencia, las condiciones fisicoquímicas, las fuentes de alimento y composición del sustrato relacionado con la hidromorfología de un lago son factores limitantes al momento de determinar la composición de la comunidad de macroinvertebrados (Ospina, Estévez, Jaime, Betancur y Realpe-Rebolledo, 2004). Los macroinvertebrados como organismos bioindicadores acompañado de la aplicación de parámetros físico químicos e índices biológicos permiten analizar de manera integral la calidad de agua (Orth, 2008).

Según Miliarum (2005) la aplicación de índices bióticos se basa en el análisis de organismos indicadores, los cuales son específicos para un tipo de contaminación. Estos índices se categorizan en base de los distintos casos que puede presentar un ecosistema hídrico con respecto a su estado ecológico, cada invertebrado posee un valor numérico en función a la tolerancia o sensibilidad, al grado de contaminación acuática con el fin de obtener valores de la calidad del ecosistema. Los índices que más sobresalen en América Latina para la determinación de diversidad y calidad de agua con macrobentos son: Índices de Pantle-Buck, Índice de Saprobio, Índices de Margalef, Índice de Simpson, Índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera), Índice de Sensibilidad, Índice de B.M.W.P (Biological Monitoring Working Party Score) y el Índice ABI (Índice Biótico Andino).

De igual importancia, la evaluación de parámetros físico-químicos, principalmente pH, temperatura (T), conectividad o conductividad (K), Oxígeno disuelto (OD), nitrógeno (N) y fósforo (P) entre otros, son una herramienta muy práctica para

identificar las variaciones en la composición que ha sufrido el cuerpo de agua tanto espacial como temporal, por acción antrópica o de forma natural, debido a que comprueba el grado de contaminación orgánica o inorgánica del recurso hídrico (Mogollón, Ramírez, García y Bifano, 1993).

Como complemento a lo anterior, se determina la relación de las variables ambientales físico-químicas mencionadas anteriormente con las estructuras de las comunidades bentónicas se realiza un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC). El ACC sirve para entender como diversos taxones responden simultáneamente a factores externos como las variables ambientales. El resultado del ACC es un diagrama de ordenamiento formado por un sistema de ejes donde se muestran los sitios, las especies y variables ambientales (Moya, Gibon, Oberdorff, Rosales y Domínguez, 2009).

Varios son los estudios que muestran el uso de macroinvertebrados como bioindicadores del estado ecológico de ecosistemas acuáticos, por ejemplo, Alonso y Camargo (2005), hacen referencia al estado actual y perspectivas en el empleo de comunidades de macroinvertebrados bentónicos como indicadores del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. Dicho estudio tuvo como finalidad comprender como la excesiva concentración de compuestos inorgánicos en los ecosistemas hídricos afectan a las comunidades de macroinvertebrados, lo que desemboca en una degradación ecológica. Este estudio también registró como se propicia una contaminación por materia orgánica en el sitio dado por el incremento de productores primarios, los cuales causaron un aumento descomunal del recurso alimentario y una descomposición de biomasa en los ecosistemas fluviales.

Estudios realizados en América destacan la importancia de evaluar el estado ecológico de los lagos mediante macroinvertebrados bentónicos en relación a parámetros físico-químicos, como es el caso de estudio en dos lagos tropicales de alta montaña en el volcán Nevado de Toluca, en la región central de México, en

donde mediante el análisis de la distribución espacial y temporal de la riqueza taxonómica y la densidad de los macroinvertebrados bentónicos y su relación con algunas las variables ambientales, se determinó que la densidad de los macroinvertebrados parece estar regulada por la temperatura y el pH, presentándose los menores valores cuando la temperatura y el pH son más bajos (Oseguera, Alcocer y Escobar, 2016).

En Ecuador se reportan estudios de macroinvertebrados en ecosistemas acuáticos como el que desarrolla la Empresa Municipal de Teléfonos, Agua Potable y Saneamiento Ambiental de Cuenca (ETAPA-EP) que actualmente tiene a su cargo la gestión del Parque Nacional Cajas, implementó desde el año 2010 el “Programa de Monitoreo y Vigilancia de los Recursos Hídricos del Parque Nacional Cajas”, tienen como objetivo principal el estudio de la diversidad de la comunidad de macroinvertebrados en el PNC y zonas aledañas y su variabilidad frente a factores naturales y al gradiente de presiones humanas existente. En donde se destaca una variación importante en las tolerancias de géneros de macroinvertebrados pertenecientes a la misma familia taxonómica frente a distintas variables ambientales de impacto (Acosta y Hampel, 2015).

De igual forma en el país, se cuenta con estudios sobre la ecología de corrientes alto andinas, río Itambi, Otavalo, Ecuador, en el cual se relacionó los parámetros físico-químicos con indicadores biológicos (macroinvertebrados y fitoplancton), flora y fauna característica del río (Burneo y Gunkel, 2003). Este estudio determinó la relación de estos parámetros frente a un tipo de contaminación rutinaria y el funcionamiento de las comunidades bentónicas. Cabe mencionar que el río Itambi aporta el 90% del caudal entrante al lago San Pablo.

Por otro lado, también existen estudios de limnología en lagos ecuatorianos como el de Ludeña y Rojas (2014) en su investigación titulada diferencias de las características físicas, químicas y biológicas de dos lagunas de diferente edad y formación, de la sierra sur del Ecuador provincia de Azuay, establece una

comparación de parámetros incluidos los biológicos siendo los más sobresalientes el de zooplancton y macroinvertebrados acuáticos, los que permiten determinar el estado trófico, su papel importante en el rol de comunidades existentes en el ecosistema lacustre léntico.

En la provincia de Imbabura estudios muestran el estado ecológico de los lagos mediante la utilización de organismos bioindicadores, como es el caso de la determinación de la calidad de agua utilizando como bioindicadores los macroinvertebrados bentónicos en el lago Yahuarcocha, en el que se realizó un monitoreo distintivo de la distribución, riqueza y su relación de macrobentos con los factores físico-químicos, con la finalidad de determinar la fuente de contaminación que proporciona deterioro a la calidad de agua del lago evitando que este ecosistema llegue a su punto crítico (Escaleras,2016). A demás, se cuenta con estudios de evaluación del comportamiento de los parámetros físicos del agua, para determinar el estado trófico del lago, en donde los resultados indicaron que el parámetro físico con mayor variación estacional fue la profundidad del disco Secchi, y la concentración de oxígeno disuelto fue el parámetro de mayor afectación en la columna de agua (Portilla, 2015).

Gunkel y Casallas (2000), mediante su estudio denominado Limnología de un lago ecuatorial de alta montaña en Ecuador Lago San Pablo, determina la eutrofización mediante el análisis de fitoplancton, zooplancton y macrófitas, que muestran que la biocenosis tiene baja diversidad. Considerando el alto nivel de nutrientes, la biomasa del fitoplancton es baja. También se ha realizado estudios que muestran las características de los sedimentos y tasa de sedimentación en donde se determinó que el lago se encuentra en estado eutrófico y, como consecuencia de esto se ha observado un crecimiento intenso de macrófitas y un hipolimnion anóxico con contenido de sulfitos orgánicos en los sedimentos (Gunkel,2003). En la actualidad no se ha registrado un trabajo puntual de lo que se refiere a macroinvertebrados bentónicos aplicado en el lago San Pablo.

1.2 Justificación

Las actividades agropecuarias y urbanas que se han generado en el área de influencia del lago San Pablo han provocado una gran alteración en las variables ambientales, modificando la concentración de las variables físico-químicos y la composición de las comunidades de macroinvertebrados (Pazmiño, 2016). Por esta razón, la presente investigación tiene como finalidad determinar el estado ecológico del lago San Pablo mediante la utilización de macroinvertebrados como indicadores biológicos. Para esto se tomará en cuenta la abundancia, riqueza, diversidad y sensibilidad de los macroinvertebrados en el lago. Mediante la aplicación de índices biológicos, se comprenderá la dinámica poblacional de estos organismos en respuesta a las alteraciones de factores físico-químicos del cuerpo de agua; a fin de que el presente estudio sirva como base para programar acciones que permitan eliminar o minimizar los impactos adversos sobre este lago, planteando propuestas de conservación que sea una referencia para estudios futuros de ecotoxicología en esta área, así como forma parte del proyecto de cooperación entre la Universidad Técnica del Norte y VLIR UOS en el “Manejo Sostenible de los lagos del Norte del Ecuador bajo las crecientes actividades antrópicas y el cambio climático”.

Esta investigación se sustenta en lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo, “Toda una vida” cuyo objetivo tercero es “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones” determina en su política 3.1 “Conservar, recuperar y regular el aprovechamiento del patrimonio nacional y social, rural y urbano, continental insular y marino-costero, que asegure y precautele los derechos de las presentes y futuras generaciones.” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el estado trófico mediante el estudio de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos en relación a los parámetros físico-químicos del Lago San Pablo, cantón Otavalo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la abundancia, riqueza, diversidad y sensibilidad de los macroinvertebrados en el Lago San Pablo.
- Evaluar la calidad del agua mediante el análisis de los índices: EPT, BMWP/C, ABI y los parámetros físico-químicos en el área de estudio.
- Analizar la relación de los parámetros físico-químicos con la presencia o ausencia de microorganismos bentónicos.
- Elaborar una guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos de Lagos Altoandinos, en base a los resultados obtenidos en el Lago San Pablo.

1.4 Pregunta(s) directriz (ces) de la investigación

¿El estudio de macroinvertebrados ayudará a determinar el estado trófico del lago?

¿La riqueza y abundancia de macroinvertebrados presentes como bioindicadores en el Lago San Pablo se relacionan con los parámetros físico-químicos?

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

El presente capítulo expone términos que se utilizarán a lo largo de todo el estudio e investigaciones que permitieron determinar los métodos de monitoreo y colecta más adecuados para su ejecución.

2.1 Marco teórico referencial

A continuación, se define contenido importante de los sistemas lacustres, macroinvertebrados bentónicos e índices de diversidad y bióticos que permitieron interpretar los resultados.

2.1.1 Ecosistemas lénticos

Los ecosistemas lénticos, (del latín *lentus*, que significa lento), son aquellos donde el agua interior se encuentra estancada o que no representan corrientes continuas. Los ambientes lénticos poseen en general menor diversidad de microhábitats que los ambientes lóticos. La orilla de una laguna, la zona litoral, tiene aguas someras con plantas creciendo en el fondo y a menudo ésta es la única zona que existe en un pantano. Por lo general, la zona litoral contiene el mayor número de especies de macroinvertebrados en los ambientes lénticos (Moreno, Quintero, y López, 2010).

La importancia de los humedales reside en que son esenciales para la supervivencia humana, constituyen uno de los entornos más productivos del mundo, además que incluyen una gran diversidad biológica, fuentes de agua y se encargan de la producción primaria de innumerables especies vegetales y animales (López, Vásquez, Gómez y Priego, 2010).

Según Moreno, Quintero, y López (2010), la limnología ha jugado un rol importante en la ecología, puesto que los sistemas limnológicos son un escenario propicio para la comprobación de teorías ecológicas. En los ecosistemas lénticos hay numerosos factores abióticos que varían con la profundidad y que sirven para explicar la variación en la diversidad y abundancia de los organismos en relación con ella: temperatura, luminosidad, concentración de gases, pH, cantidad de materia orgánica (Chang, 2005).

2.1.2 Lagos y su Proceso de Eutrofización

Un lago es en realidad un componente más del agua superficial del planeta; es un lugar donde el agua superficial que procede de los escurrimientos de la lluvia, y de filtraciones del agua subterránea, se ha acumulado debido a una inclinación del terreno (Chang, 2005). Sin embargo, se encuentran entre los ecosistemas acuáticos más vulnerables y frágiles, ya que son el sumidero de muchas sustancias como: sedimentos, minerales, nutrientes de plantas acuáticas y materiales orgánicos provenientes de su cuenca (López y Madroñero, 2015).

La mayor parte de las características de los lagos dependen de su origen, por lo que existen lagos tectónicos que son aquellos que rellenan las depresiones originadas por fallas y plegamientos causados por movimientos del suelo, aluviales son aquellos cuyo origen se debe a la acumulación o represa del agua en una cuenca al obstruirse su salida natural por los aluviones abandonados por un río o un torrente, glaciares se forman cuando las aguas ocupan el hueco erosionado por las masas glaciares y finalmente de cráter son aquellos que se originan tras la explosión del cráter de un volcán el cual forma una caldera volcánica o un hundimiento circular que puede ser inundado tras la extinción formando un lago (Moreta, 2008).

La eutrofización es el proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes, esto se ocasiona por la presencia de factores que influyen directamente para acelerar el proceso, en la mayoría de los casos la

eutrofización está relacionada con la descarga de fuentes puntuales no tratadas provenientes de las áreas urbanas (Quirós, 2000). La alteración de la biota y diversidad biológica son consecuencias de la eutrofización que afectan directamente a los ecosistemas acuáticos, que a su vez generan la imposibilidad de llevar a cabo la fotosíntesis en lugares profundos de la columna de agua reduciendo la producción de oxígeno libre (Moreno, Quintero, y López, 2010).

Los lagos eutróficos poseen algunas características como orillas más suaves, en el fondo hay abundantes sedimentos, las aguas se enriquecen en nutrientes y se vuelven más turbias. En el plancton dominan las clorofíceas y cianofíceas, en el zooplancton proliferan los rotíferos y copépodos, la cobertura de las orillas aumenta; la fauna tanto de invertebrados como de vertebrados aumenta su diversidad y abundancia. Aunque la eutrofización es un proceso natural, en la actualidad, debido al abuso de abonos (nitratos y fosfatos principalmente) casi todos los lagos están aumentando su nivel de eutrofia (Moreta, 2008).

2.1.3 Tipos de Evaluación de Calidad de Agua (Físico-Químicos y Biológicos)

Los tipos de evaluación de calidad de agua según Guevara (1996) se basa en la importancia del parámetro a usar, varían según el objetivo planteado, el tiempo, el estudio que se va a realizar y las condiciones del cuerpo de agua que presente. Una manera muy práctica de identificar las variaciones en la composición que ha sufrido el cuerpo de agua tanto espacial como temporal, por acción antrópica o de forma natural, es la determinación de una manera más específica de los parámetros físicos como temperatura (T), pH, conectividad o conductividad (K), Oxígeno disuelto (OD), entre otros. La selección de estos depende del nivel o grado de investigación que se esté realizando ya que comprueba el grado de contaminación orgánica o inorgánica del recurso hídrico (Mogollón et al, 1993).

La temperatura es un parámetro físico que debe ser medido *in-situ*, conocido como un importante factor de los ecosistemas acuáticos, tiene una influencia directa con

la distribución, comportamiento y metabolismo de la biota acuática, además este parámetro afecta a la solubilidad del oxígeno, por ello es perjudicial para la aireación del sistema. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades tanto químicas como su comportamiento microbiológico (Marín, 2003).

El potencial de hidrógeno (pH) permite obtener la medida de grado de acidez o alcalinidad, aguas con valores de pH menores de 7 son aguas ácidas y favorecen la corrosión de las piezas metálicas en contacto con ellas, y las que poseen valores mayores de 7 se denominan básicas y pueden producir precipitación de sales insolubles (incrustaciones) (Carrera, Guevara, Crisanto, y Maya, 2015). El pH del agua se debe sobre todo al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos, el intervalo de pH de las aguas superficiales se encuentra en el intervalo de 6 a 8,5 (Marín, 2003). El agua natural por lo general presenta características ácidas por el CO₂ presente proveniente de la atmósfera y de la micro fauna; al existir cambios bruscos provoca una disminución de la fauna y flora acuática, sin embargo, el cuerpo de agua contaminados por desechos industriales interviene en procesos químicos naturales que cargan en un ecosistema acuático llevándolo a su autodepuración, de igual manera este parámetro es tomado *in situ* (Cárdenas, 2005).

La medida de conductividad de un cuerpo de agua es uno de los parámetros más importantes en limnología, gracias a ella se puede conocer mucho acerca del metabolismo de un ecosistema acuático. Además, altas diversidades de especies corresponden, a menudo a bajas conductividades y viceversa (Ramírez y Roldán, 2008). La conductividad se define como la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica a través de los iones disueltos. Las sales y también otras sustancias afectan la calidad del agua potable o de riego. También influyen en la biota acuática y cada organismo tolera una gama de valores de conductividad (Marín, 2003).

La conductividad de un agua natural está mediatizada por el terreno que atraviesa y por la posibilidad de disolución de rocas y materiales, el tipo de sales presentes, el tiempo de disolución, temperatura, gases disueltos, pH y toda la serie de factores que pueden afectar la solubilidad de un soluto de agua. (Marín, 2003).

La cantidad de oxígeno que esta disuelto en el agua, es un indicador esencial que determina la salud del ecosistema acuático y el soporte de ésta para la vida vegetal y animal, por lo general, un nivel de oxígeno disuelto más alto indica una mejor calidad del agua (Yaguachi, 2013). En el estudio realizado por Medina y Sotomayor (2013), para la laguna Conococha en provincia El Oro, establecen que, al descomponerse las algas, estas emplean cierta cantidad de oxígeno, la cual empieza a disminuirse por lo que se pierde la calidad del agua. Según Moreta (2008), “La concentración de oxígeno disuelto en el agua de un lago depende de la temperatura, que a su vez depende de la radiación solar y de la profundidad”. Así mismo, Moreira y Sabando (2016), realizaron una investigación del estado trófico del embalse Sixto Duran Ballén, después de analizar el parámetro oxígeno disuelto obtuvieron que este factor disminuye debido al aumento de temperatura que contribuye a la proliferación de algas y a su vez aumenta el pH.

La demanda química de oxígeno, DQO, corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a CO_2 y H_2O (Cisterna y Peña, 2004). El valor de la DQO es siempre superior al de la DBO_5 porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente, y su contenido es de materia orgánica: es de carbohidratos, proteínas, grasas e inorgánico (hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros). Los valores de DQO presentes en agua superficies puede varias entre 20 mg/l o menos demostrando que existe una buena calidad, mientras que en aguas que presentan influencia antrópica los valores puede varias desde 100 a 60000 mg/l (Chapman y Kimstach, 1996). La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) indica la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para

oxidación de la materia orgánica biodegradable, presente en la muestra de agua, como resultado de la acción de oxidación aerobia (Ramalho, 2003).

Las aguas superficiales son altamente susceptibles a la contaminación, siendo el vertedero tradicional a lo largo de toda la historia de la industria y las poblaciones. En el caso de los contaminantes residuos que demandan oxígeno, afectan a las corrientes de agua como a las aguas estancadas. La materia orgánica requiere oxígeno para ser degradada en un curso de agua. El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos. El oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática. Entre los efectos al ecosistema, se encuentra el cambio en la calidad del agua, y la posible elevación del pH, provocando la desaparición de peces y plantas (Raffo y Ruiz, 2014).

Iones nitratos y nitritos, estos compuestos forman parte del ciclo natural del nitrógeno, las actividades humanas incrementan sus niveles principalmente en el suelo, y es debido a su solubilidad en agua, por lo que llega a alcanzar concentraciones importantes en ríos o lechos profundos. Este proceso de nitrificación depende de la temperatura, del contenido de oxígeno disuelto y del pH del agua. Las principales rutas de ingreso de nitrógeno a las masas de agua son a través de aguas residuales industriales o municipales, por tanques sépticos o descargas de corrales ganaderos, residuos animales (incluyendo aves y peces) y también por las descargas de la emisión de gases de vehículos (Bolaños, Cordero, y Segura, 2017).

Según Bolaños, Cordero y Segura (2017), el ion fosfato (PO_4) se forma a partir del fósforo inorgánico que existe como mineral y contribuye directamente en el ciclo de este elemento en el ambiente. También puede existir en solución como partículas, como fragmentos sueltos o en los cuerpos de organismos acuáticos. El agua de lluvia puede contener distintas cantidades de fosfatos que se filtran de los suelos agrícolas a los cursos de agua próximos. Como antecedente, se sabe que el

Lago Erie ubicado en Estados Unidos y Canadá durante los años 70 sufrió un incremento considerable del ion fosfato, que provocó la muerte de los peces y de muchas especies marinas, por la gran cantidad de polifosfatos provenientes de los detergentes en las aguas residuales. El ion fosfato suele operar como un nutriente del crecimiento de algas, esto quiere decir que al existir mayor concentración de fosfatos (PO_4), crecen las algas de manera desmedida, lo que a su vez afecta la cantidad de oxígeno presente en el agua y, por ende, el crecimiento descontrolado de materia orgánica viva, situación que conlleva una mayor tasa de descomposición, que finalmente conduce a un proceso franco de eutrofización.

Los sulfatos disueltos en agua favorecen la incorporación de ciertas proteínas en los organismos y contribuyen a la proliferación de algas verdes. Por esto, Yahuarcocha es un lago de coloración verde intenso. En zonas donde existe un volcán, como a las orillas de la laguna San Pablo, también es común encontrar grandes concentraciones de SO_4 , por la composición geológica natural del sitio donde se asienta el cuerpo de agua (Terneus,2014).

En el estudio realizado por Pazmiño (2016) en el río Itambi, principal entrada de agua del lago San Pablo, determinó que al existir actividades antrópicas como agricultura y ganadería en el río Itambi se pudo observar un aumento considerable en la concentración de contaminantes como nitratos, amonio, cloruros y fosfatos entre el sitio de referencia y dos sitios con intervención antrópica, es importante tener en cuenta que este tipo de contaminación orgánica produce la eutrofización de los cuerpos de agua debido al aumento de la producción primaria y al agotamiento del oxígeno disuelto.

Miño y Rodríguez (2018), evaluaron el estado trófico con relación al comportamiento de los parámetros físicos y biológicos del Lago San Pablo. Para esto, se caracterizaron las condiciones climáticas y morfológicas, determinando los parámetros físicos, los taxones de fitoplancton y zooplancton de la columna de agua. Como resultados de la investigación concluyó que el análisis de los

parámetros físicos no permitió evaluar el estado trófico de un lago, mientras que los parámetros biológicos evaluaron al lago San Pablo como un ecosistema mesotrófico en un proceso de eutrofización. Dando a conocer que es importante realizar el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos para determinar el estado trófico de un ecosistema de manera integral.

2.1.4 Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores

Entre los métodos para evaluar la calidad del agua tenemos el monitoreo biológico, el cual se basa en la utilización de comunidades biológicas como bioindicadores. Un bioindicador es la “especie o ensamble de especies que poseen requerimientos particulares con relación a uno o un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia-ausencia, número, morfología o conducta de esa especie en particular, indiquen que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentren cerca de sus límites de tolerancia” (Doughty, 1994).

Los macroinvertebrados bentónicos constituyen uno de los métodos más usados en la evaluación de ecosistemas fluviales, habitan en los sustratos sumergidos de ríos, lagos, lagunas y humedales. Debido a sus características físicas pueden ser observables a la vista humana ($>500\mu\text{m}$), son invertebrados porque no tienen huesos y gran parte de su ciclo vital lo desarrollan en el agua. Se constituyen principalmente artrópodos como insectos, arácnidos y crustáceos, en menor frecuencia se presentan otros como oligoquetos e hirudíneos (Alba, Pardo, Prat, y Pujante, 2005). Reflejan de forma inmediata los cambios efectuados en la estructura de poblaciones y comunidades bentónicas, se alimentan de sedimentos donde se acumulan toxinas de forma que se incorporan en la cadena trófica; su sensibilidad a los cambios o disturbios presentes permite la determinación de calidad acuática y, por último, son primordiales en la alimentación de peces y se integran en la degradación de materia orgánica y ciclo de nutrientes (Segnini y Chacón, 2005).

Los macroinvertebrados son usados como bioindicadores debido a que gran parte de su vida se desarrollan en medios acuáticos. La presencia de algunas familias y géneros es indicadora de aguas claras y limpias, mientras que otras soportan aguas muy contaminadas; así, por ejemplo, la presencia de individuos de las familias Tubificidae (anélidos) o Chironomidae (moscas) indican la presencia de considerable contaminación hídrica, opuestamente unas aguas claras y limpias serán el hábitat de individuos de familias como Zygoptera (libélulas), Ptilodactylidae (escarabajos) o Hydrachnidae (arácnidos) que no pueden adaptarse a condiciones hídricas con presencia de contaminantes (Vásquez y Medina, 2014).

El río Liquino, uno de los afluentes del río Pastaza, en el oriente ecuatoriano, ha sufrido episodios de intervención antrópica. Con el propósito de medir el estado de salud ecológica de este ecosistema acuático, se monitorearon sus aguas utilizando macroinvertebrados como bioindicador de calidad ambiental. Durante el trabajo realizado se registró la presencia y dominancia de especies indicadoras de buena calidad ambiental, como son las especies correspondientes al grupo de los Ephemeroptera (Mayobaetis sp., Farrodes sp., Leptohyphes sp.), Trichoptera (Smicridea sp., Chimarra sp.), Plecoptera (Anacroneuria sp.) (Terneus, Hernández, y Racines, 2012).

2.1.5 Tipos de Colecta

Según Palma y Arana (2014), en su guía de métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas en Perú, el objetivo fundamental del muestreo consiste en recolectar la mayor diversidad posible de macroinvertebrados. Para ello deben explorarse cuidadosamente cada uno de los hábitats posibles en cada lugar de muestreo, esto incluye el sustrato de fondo (piedra, arena, lodo, restos de vegetación), macrofitas acuáticas (flotantes, emergentes y sumergidas), raíces sumergidas de árboles y sustratos artificiales (restos de basura que puedan estar presentes, diques, etc).

Red de patada: Se la llama de “patada” porque mientras uno de los miembros de la pareja da patadas, removiendo el fondo, la otra persona coloca la red en contra corriente, este proceso debe constar de varias características de hábitat como presencia de sedimento, área pedregosa de sustratos finos y no muy profunda, esta red se la construye con una malla plástica o metálica de aproximadamente un metro cuadrado. Esta malla está sujeta a los lados de la red, con palos de un metro y medio de largo (Carrera y Fierro, 2001). En la investigación realizada por Baladrón et al. (2001), se utilizó la metodología de la red de patada en el río Perales, España, para la captura de los organismos, los cuales fueron identificados a nivel de familia; aplicaron los índices de calidad de agua en base a la presencia de diferentes taxas recolectadas e identificadas.

Red de arrastre: Es uno de los instrumentos que mejora un monitoreo de macroinvertebrados, por tomar muestras de varias profundidades según su alcance, existen tres tipos de redes de arrastre entre ellas encontramos; red en D, red pentagonal y red triangular, como su nombre lo dice, se realiza un arrastre del punto que se considera en varias tomas de muestras (Carrera y Fierro, 2001). La colecta se ejecuta removiendo el sustrato con la mano o el pie, de forma que los sedimentos que se encuentran en el fondo del ambiente queden en suspensión en la columna de agua, así, con movimiento en zigzag de la red colocada a contracorriente todo el material removido entrará en ella (Darrigran, Vilches, Legarralde y Damborenea, 2007).

2.1.6 Índices Bióticos

Se basan en el análisis de organismos indicadores, los cuales son específicos para un tipo de contaminación. Se categorizan en base de los distintos casos que puede presentar un ecosistema hídrico con respecto a su estado ecológico, cada invertebrado posee un valor numérico en función a la tolerancia o sensibilidad, al grado de contaminación acuática con el fin de obtener valores de la calidad del ecosistema (Miliarium, 2005).

Existen un sin número de índices bióticos adaptados a niveles locales (comúnmente por continente), desarrollados a comienzo para determinadas regiones, validadas y adaptadas a los ecosistemas fluviales que presentan (Fernández, et al. 2002). Según Miliarium (2005) los índices que más sobresalen en América Latina para la determinación de diversidad y calidad de agua con macrobentos son: Índice de Simpson, Índices de Margalef, Índice de Pantle Buck, Índice de Sensibilidad, Índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera), Índice B.M.W.P. (Biological Monitoring Working Party Score) e Índice A.B.I. (Índice Biótico Andino).

Índice de Simpson: Es un índice que manifiesta la probabilidad de que dos individuos colectados al azar pertenecientes a una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes y la distribución es más equitativa, el valor mínimo para este índice es 1, si es este el caso de la muestra, refleja que el ecosistema es homogéneo y si el valor es cerca de 0 el ecosistema es muy diverso y heterogéneo. Los valores que muestran una deficiente estructura bentónica con respecto a su ecosistema, el índice afirma: valores que se encuentren en 0.2 a 0.6 tratamos de aguas de mediana calidad donde los organismos han sufrido cambios leves a la contaminación presente (Roldán, 1999).

Ríos, Mutschke y Morrison (2003), en su estudio realizado en el estrecho Magallanes en Chile, si los valores obtenidos de Simpson para la zona limnética se encuentran entre el rango de 0.2 a 0.6 representa que el estado ecológico de esta zona es moderado desde el punto de vista de la calidad del agua. Sin embargo, estas condiciones dentro de esta zona se originan porque, al ser menor el número de especies y mayor número de individuos da a comprender que existiría una dominancia dentro de la comunidad bentónica. Por otra parte, el estudio realizado en el Lago Yahuarcocha por Escaleras (2016), determinó que dentro de los índices de diversidad de Simpson y de dominancia se observó altos grados de dominancia y un bajo grado de riqueza con respecto a la diversidad bentónica.

Índice De Margalef: Es un índice muy utilizado para determinar la riqueza específica de una comunidad determinada, de un determinado número de especies que se encuentran presentes en un ecosistema. Posee varias limitaciones debido a que aporta una visión parcial de la diversidad y no brinda una distribución espacial de las comunidades presentes. Su principal limitante se debe a la identificación de los organismos a nivel de especie (Roldán, 1999).

Un estudio realizado por González, Ramírez, Meza y Días (2009), para comparar la riqueza, composición de macroinvertebrados y la calidad de agua en dos quebradas abastecedoras en el municipio de Manizales en Colombia, mostró que la dominancia de Simpson fue baja para ambas quebradas, principalmente para la quebrada Olivares. Sin embargo, según los índices de Margalef y de equidad de Shannon-Wiener, se presentaron valores más altos de diversidad para dicha quebrada, en comparación con las demás estaciones de muestreo, probablemente esto se debe a la presencia del bosque ripario en mejor estado de conservación. En concordancia con algunos autores como Alonso (2006) y Arcos (2005), quienes encontraron que en lugares donde existe una reducción de la vegetación ribereña por actividades antrópicas como ganadería y agricultura, se presenta una reducción de la diversidad.

Índice de Pantle Buck: Es el primer índice biótico que estudia la ausencia o presencia de cada organismo, se tiende a categorizar la abundancia y la agrupación que presentan, y asignar valores de acuerdo con el grado de contaminación. Estos autores tomaron el sistema sapróbico de Kolwitz y Marsson (1908) y le adicionaron el concepto de abundancia relativa de los organismos de una muestra (Pinilla, 1998). El grado de saprobiedad está relacionado directamente con la oxidación de la materia orgánica, por la presencia de organismos saprófitos. Se consideran cuatro etapas Zona polisapróbica que es el valor más alto que refleja un área fuertemente contaminada, Zona α mesosapróbica de lugares muy contaminados, Zona β mesosapróbica a moderadamente contaminada y Zona oligosapróbica a presencia de baja contaminación (Ramírez, 2000).

Un estudio realizado en el río Chicama en Perú por Santillán y Guerrero (2018), demostraron que los macroinvertebrados y fitoplancton Índice de Pantle y Buck resultaron ser organismos ideales para la evaluación y monitoreo de los cuerpos de agua, y determinar la calidad de agua. El resultado del índice evaluado determinó que la cuenca se encontró dentro del rango de α -mesosaprobio (aguas moderadamente contaminadas) con predominancia de contaminación de tipo orgánico.

Índice de Sensibilidad: Mide el grado de sensibilidad que tienen las diferentes familias de macroinvertebrados a los contaminantes. Estos números van del 1 al 10. Como se muestra en la Tabla 3, el número 1 indica el menos sensible, y así, gradualmente, hasta el número 10, que señala al más sensible. Este índice utiliza la misma metodología que el índice BMWP-R, sin embargo se diferencian en que éste incluye algunas familias que el anterior no, como Anisóptera, Gastrópoda, Hydrachnidae, Turbellaria y Zygoptera; en el río o estero Angosturita en Ecuador se aplicó este índice dando un valor de 123 que esta en el rango de 101-145 de calidad de agua muy buena, y para el río Cachaco con un total de 68 que esta en un rango de 61 – 100 calidad de agua buena (Carrera y Fierro 2001).

Índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera): Permite analizar tres grupos de macroinvertebrados altamente sensibles, considerados bioindicadores de buena calidad de agua porque se manifiestan como perceptivos a los contaminantes presentes en un ecosistema acuático. El índice se calcula sumando las puntuaciones (abundancia de individuos) por cada familia presente en la muestra perteneciente a los órdenes Ephemeroptera o moscas de mayo, Plecóptera o moscas de piedra y Trichoptera; luego se divide el total de ETP presentes para el total de abundancia de individuos y se multiplica por cien para obtener un cierto porcentaje, que se encuentra propiamente categorizado en mala (0-24%), regular (25-49%), buena (50-74%) y muy buena (75-100%) (Carrera y Fierro, 2001).

En el estudio realizado en el río Jatunyacu en un lapso de ocho meses, se colectaron muestras en tres sitios de monitoreo, clasificando los individuos por órdenes y familias, dicha información que fue procesada y analizada mediante el índice biológico EPT y sensibilidad. Se determinó como resultado que el agua del río Jatunyacu en la parte alta es de “mala” calidad, en la parte media es “regular” y en la parte baja es de “buena” calidad (Coronel y Jiménez, 2010).

Índice B.M.W.P. (Biological Monitoring Working Party Score): Permite evaluar la calidad del agua de forma cualitativa (presencia /ausencia), se valora según el nivel taxonómico de familias de macroinvertebrados, este índice ha recibido un cierto número de modificaciones según el área de estudio a evaluarse, Costa Rica y Colombia son quienes modificaron el índice para sus sistemas hídricos. El máximo puntaje se les asigna a las especies sensibles indicadoras de aguas limpias con un valor de 10, el valor mínimo a especies altamente tolerantes, indicadoras de mayor contaminación con calificación de 1, para el resto de familias fluctúa entre 9 y 2 según el grado de sensibilidad que estos organismos presenten frente a la contaminación (Roldán, 2003).

En un estudio realizado en los ríos: Pindo Mirador, Pindo Grande y Alpayacu, ubicados en el sector de Mera, provincia de Pastaza de la Amazonía ecuatoriana en el mes de mayo del 2012, se analizó la diversidad y la abundancia de los macro invertebrados bentónicos utilizando los índices BMWP-A y EPT. Los resultados de ésta investigación permiten determinar la importancia de las micro-cuencas de los ríos Pindo Mirador y Pindo Grande como fuente de agua para las poblaciones que se encuentran río abajo, así como el modo en el cual la presencia o ausencia de organismos bioindicadores (macroinvertebrados) indica la calidad del agua y de los bosques de la micro-cuenca (Endara, 2012).

Se realizó un muestreo de macroinvertebrados bentónicos en los ríos Guajalito, Palmeras y Brincador, los cuales cruzan a través del Bosque Protector Río Guajalito, con el fin de estimar la calidad de las aguas de los mismos y de comparar

diversos índices biológicos de calidad de aguas (BMWP-A e índice de Sensibilidad). Las familias más representativas fueron Hydropsychidae, Chironomidae y Helicopsychidae. Se encontraron diferencias significativas en la diversidad y riqueza de invertebrados bentónicos entre los diferentes ríos, y además en las puntuaciones de los diferentes índices biológicos de calidad del agua (Arroyo y Encalada, 2010).

Los índices más ampliamente usados para sistemas lóticos (ríos y riachuelos) y lénticos (lagos, lagunas) son el Índice BMWP/Col (Biological Monitoring Water Party/Colombia) (Roldán, 2003) y el Índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera) (Carrera y Fierro, 2001), los cuales son útiles en el análisis de la calidad del agua, debido a que necesitan bajo nivel taxonómico (Familia), bajo costo en términos de tiempo (identificación de insectos) y dinero, convirtiéndose en metodologías rápidas y útiles para ser empleadas en la fiscalización por parte de algún organismo público que requiera en poco tiempo y de una forma acertada evaluar la calidad del agua de una cuenca hidrográfica determinada (Roldán, 2003).

Índice A.B.I (Índice Biótico Andino): Es una adaptación de macroinvertebrados para áreas altoandinas pertenecientes a los Andes. Las especies forman parte de una lista de taxa que tienen su distribución por encima de los 2000 m.s.n.m., el logro de este índice es gracias a una exhaustiva revisión de valores de tolerancia e intolerancia para cada familia, se entrelazaron los datos pertenecientes a la distribución de las familias, con los datos de contaminación del medio. Los taxa dentro de una misma familia puede tener una respuesta a la contaminación diferente en una zona geográfica respecto a otra (Ríos, Acosta y Prat, 2014).

Rosero y Fossati (2009), realizaron una comparación del índice BMWP/Col y el índice ABI, para nueve ríos del páramo de Papallacta y un río del Bosque Nublado, se ha observado que los puntajes de las familias de invertebrados que más se ajustan a las condiciones de los ríos en la zona de estudio, son los puntajes del índice ABI, debido a que los puntajes del índice ABI son más exigentes y dan valores inferiores

a las familias de invertebrados, concluyeron que la calidad del agua de los ríos de Papallacta observada durante dos años de muestreo trimestral presenta variaciones entre calidad muy crítica hasta aceptable.

2.2 Marco legal

La investigación se realizó acorde a aspectos legales contemplados en leyes y reglamentos para la aplicación de normas que enfatizan la minimización de los posibles impactos ambientales en los ecosistemas hídricos.

2.2.1 Constitución política del Ecuador

La investigación realizada se encuentra fundamentada en los artículos de la Constitución Política del Ecuador, como derechos adquiridos por los ciudadanos por un buen vivir en la conservación de los ecosistemas para evitar la propagación de daños ambientales por la contaminación del recurso hídrico.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

Arts. 30 y 31.- Declaran el derecho de un hábitat saludable y derecho al disfrute de los espacios de las ciudades en un equilibrio sostenible de lo ambiental, y lo social.

Art. 71.- Se describe a la Naturaleza y se le otorga el derecho al respeto integral de su existencia, su mantenimiento y sus ciclos vitales. Así mismo, se establece que toda persona puede exigir el cumplimiento de los derechos de la naturaleza.

2.2.2 Tratados internacionales

Es preciso mencionar a La Convención de Ramsar, que se trata de un tratado intergubernamental a nivel internacional que proporciona medidas para la conservación de los humedales. El convenio se puede tomar como punto de partida para la conservación a nivel nacional e internacional. La conservación de los humedales, así como su uso sostenible y el de sus recursos, se hallan en el centro del "uso racional" en beneficio de la humanidad (Ramsar, 2014).

2.2.3 Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento de agua

La presente ley de aguas garantiza la conservación y el control para la contaminación con el fin de proteger este recurso y sea aceptable, asequible para uso recreacional y doméstico.

En el **Art. 64** se menciona que la naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación del agua con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares.

El **Art. 65** menciona que los recursos hídricos serán gestionados de forma integrada e integral, con enfoque ecosistémico que garantice la biodiversidad, la sustentabilidad y su preservación conforme con lo que establezca el Reglamento de esta Ley.

2.2.3 Código orgánico ambiental (COA)

El estudio se sustenta en el **Art. 26**, el cual manifiesta las facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental, haciendo énfasis en el literal 6 que señala la responsabilidad de los GAD's en generar normas y procedimientos para prevenir, evitar, reparar, controlar y sancionar la contaminación y daños ambientales, una vez que el Gobierno Autónomo Descentralizado se haya acreditado ante el Sistema Único de Manejo Ambiental.

También en el **Art. 30** en el que se mencionan los objetivos del estado relativos a la biodiversidad, en el literal 3 se considera el establecer y ejecutar las normas de bioseguridad y las demás necesarias para la conservación, el uso sostenible y la restauración de la biodiversidad y de sus componentes, así como para la prevención de la contaminación, la pérdida y la degradación de los ecosistemas terrestres, insulares, oceánicos, marinos, marino-costeros y acuáticos

2.2.4 Texto unificado de legislación ambiental secundaria

Para la normativa ambiental y su cumplimiento con el cuidado y conservación del ambiente, se acoge bajo el Texto Unificado de la Legislación Secundaria con el libro VI Anexo I sobre “La prevención y el control de la contaminación ambiental la cuales rigen a todo el territorio nacional”. Establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de agua, los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos y métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

El presente estudio aplicó una metodología que cumple con los requerimientos y particularidades de los rasgos que presenta el Lago San Pablo, tomando en cuenta los objetivos que se plantearon inicialmente para el desarrollo de la investigación.

3.1. Descripción del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el lago San Pablo ubicado en la provincia de Imbabura cantón Otavalo parroquia San Pablo (Figura 1). Es un lago de alta montaña, ubicado en la parte norte de los Andes ecuatorianos, a 2 660 m s.n.m, con una latitud de 10°23.045,909 m (N) y longitud 809.196,169 m (W). El lago tiene una forma oval redondo u oval oblongo con un perímetro de 11.73 km, área de espejo de agua de 6.18 km², línea de desarrollo costera de 1.21 km, profundidad máxima de 34.77 m y una profundidad media de 22 m; en un promedio mensual de 35 años (1980-2015) el lago presentó una temperatura media de 14.7°C y una precipitación de 875.2 mm/año; alcanzando su máximo valor en el mes de abril con un total de 128.3 mm, por otro lado, el mes más seco fue agosto con 17 mm de precipitación registrada (Miño y Rodríguez, 2018).

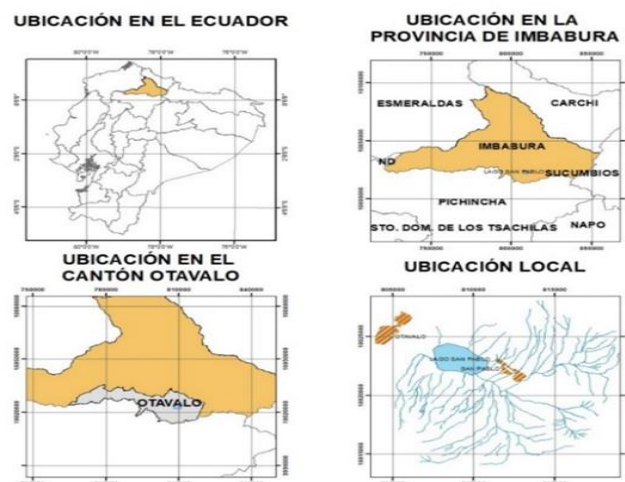


Figura 1 Mapa de Ubicación del Lago San Pablo

3.2. Materiales

Los materiales que se utilizaron para la realización de la investigación están clasificados en materiales de campo, laboratorio, y oficina, (Tabla 1).

Tabla 1. Materiales utilizados en la investigación

Campo	Laboratorio	Oficina
Baldes herméticos	Estereoscopio Leica S6D	Disco extraíble
Vadeador	Agua destilada	Papel Bond (A4)
Botellas plásticas de 1 litro	Alcohol al 80%	Laptop
Cámara Digital	Bandeja Blanca	Software ArcGIS 10.3
Cartografía de la Zona	Pinzas	Software XLSTAT
Marcadores permanentes	Cajas Petri desechables	Guía de identificación de especies de Roldán
Sellos, etiquetas	Mascarilla	
Flexómetro 3m	Tubos Eppendorf	
Fundas	Lámpara Leica KL300Ld	
Gel Antiséptico	Tamiz	
GPS		
Libreta de Campo		
Sensor sumergible		
multímetro YSI		
Tubos falcón con falda 45 ml		

a. Métodos

Para cumplir cada objetivo planteado en esta investigación, se emplearon varios métodos sustentados en la revisión bibliográfica de diferentes autores.

3.3.1 Metodología para evaluar la abundancia, riqueza, diversidad y sensibilidad de los macroinvertebrados en el Lago San Pablo

Para llevar a cabo la realización del primer objetivo específico, se tomó en cuenta los puntos detallados a continuación:

- **Frecuencia de muestreo**

Con el fin de determinar la frecuencia de muestreo, se realizó el análisis de la variedad de microclimas, mediante la aplicación del diagrama ombrotérmico de Gaussen (Figura 2), el cual representa gráficamente el clima de una región tomando en cuenta datos de temperatura y precipitación a lo largo de un año. Para la representación del diagrama se colocan los doce meses del año en el eje de las X y en un doble eje Y se colocan en un lado las precipitaciones medias (en mm) y en el otro las temperaturas medias (en °C) registradas en cada uno de los meses del año. Teniendo en cuenta que la escala de precipitación debe ser doble que la de temperatura; así la curva de precipitación estará por debajo de la de temperatura y el área que se muestre entre las dos curvas representa la duración e intensidad del periodo de sequía (González, 1980).

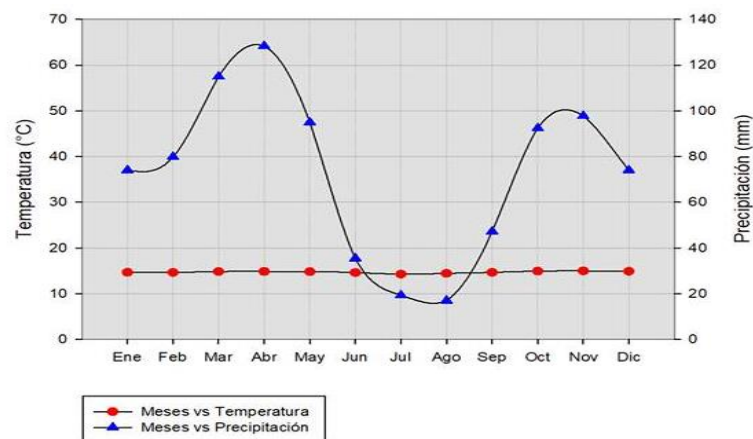


Figura 2. Diagrama Ombrotérmico Lago San Pablo 1980-2015

Fuente: Miño y Rodríguez (2018)

En este sentido y de acuerdo con los datos obtenidos del diagrama ombrotérmico elaborado por Miño y Rodríguez (2018), el muestreo se realizó dos veces al año, el primero durante la época seca que comprende el mes de agosto por ser el mes que presentó menor precipitación y un segundo muestreo en la época lluviosa durante el mes diciembre, dado que este aspecto influye en el aumento o disminución de la diversidad de las comunidades bentónicas.

- **Selección de puntos de muestreo**

Para la selección de puntos de muestreo se identificó sitios a lo largo de la zona litoral del Lago San Pablo donde existió mayor presencia de actividades antrópicas, y se realizó una georreferenciación con ayuda del GPS. En cada uno de los puntos se consideró aspectos como: el aumento de materia orgánica, actividades antrópicas, entradas de aguas artificiales y naturales, tipo de vegetación presente, profundidad y el tipo de sustrato. Además, se llevó a cabo un registro fotográfico en cada uno de los puntos seleccionados.

Teniendo en cuenta las condiciones mencionadas anteriormente se obtuvieron 10 puntos para colecta de macroinvertebrados y cinco puntos representativos para la toma de muestras utilizadas para los análisis físico-químicos, los cuales están ubicados únicamente en la zona litoral del Lago San Pablo por facilidad de acceso y debido a la profundidad del lago.

- **Colecta e identificación de macroinvertebrados bentónicos**

Seleccionados los puntos de muestreo se colectó con ayuda de redes de arrastre que permitieron hacer un barrido a lo largo de las orillas con vegetación atrapando a los organismos que se encuentran adheridos a la vegetación emergente. Otro de los métodos de colecta que se utilizó fueron las redes de patada cuyo procedimiento consiste en ponerse en dirección opuesta a la corriente y se patean el fondo del lago

removiendo el sustrato para que los macroinvertebrados sean transportados hacia el fondo de la red; este procedimiento se repitió alrededor de toda el área de muestreo. Además, se limpió las redes después de cada muestreo con el fin de que no queden macroinvertebrados fijados los cuales pueden ser considerados por error. Estos dos tipos de colecta son recomendables en sistemas lénticos en el caso de zonas poco profundas.

Una vez hecha la colecta, el sustrato se depositó en baldes herméticos y se procedió a excluir los sustratos minerales y orgánicos grandes. Los macroinvertebrados que se lograron identificar *in situ* fueron depositados en frascos con alcohol al 80%. Tanto los baldes como los frascos fueron debidamente etiquetados con información de campo. Por otra parte, la identificación se realizó con ayuda de claves taxonómicas especializadas para la región entre ellas la guía de identificación de especies de Roldán, libreta de campo para la Identificación de los Macroinvertebrados del instituto de tecnología Stevens, entre otras.

- **Aplicación de índices**

En la Tabla 2 se detallan los diferentes índices que se utilizaron en la investigación los cuales están asociados con las comunidades de macroinvertebrados, de manera que se pueda obtener un análisis de las condiciones en las que se encuentra el Lago San Pablo para ello se basó en dos enfoques principales: El Sapróbico y de Diversidad; para obtener una evaluación a base de comunidades de macrobentos y su respuesta o no a la contaminación del Lago.

Tabla 2. Índices de Biodiversidad

Índices de biodiversidad	Tipos de índices a utilizar
Índices de Diversidad	Índice de Simpson
	Índice de Margalef
Sistemas Sapróbicos	Índice de Saprobiidad (Pantle-Buck)
Índice de Sensibilidad	Índice de sensibilidad Carrera y Fierro

- **Índice de Simpson**

El índice de Simpson mide la biodiversidad de un hábitat en función de cómo están agrupados los individuos en las diferentes especies existentes. Se determinó a partir de la proporción de individuos de cada especie con respecto al total de individuos de la muestra, este índice estima si en un área determinada hay especies muy dominantes y le da poca importancia a las especies raras o menos abundantes. Un sistema es más diverso cuanto menos dominancia de especies hay o en otras palabras cuando la distribución es más equitativa. Se basa en la abundancia proporcional de especies, considerando que una comunidad es más diversa mientras mayor sea el número de especies que la compongan y mientras menor sea la dominancia de una especie con respecto a las demás (Moreno, 2001).

Primero se calculó la dominancia de Simpson con la siguiente fórmula:

$$D = \sum (p_i)^2 \quad (1)$$

D= Índice de dominancia de Simpson

$\sum (p_i)^2$ = Sumatoria de Proporción de Individuos al cuadrado

Y para determinar solamente la diversidad de especies con la aplicación del índice de Simpson se aplicó la fórmula (2):

$$S = 1 - \sum (p_i)^2 \quad (2)$$

Donde: S = Índice de Simpson (diversidad)

$\sum (p_i)^2$ = Sumatoria de Proporción de Individuos al cuadrado

El cálculo de p_i dentro de la fórmula de Simpson se determinó de la siguiente manera:

$$p_i = n_i / N \quad (3)$$

p_i = abundancia relativa

n_i = número de individuos de la especie i

N = número total de individuos para todas las S especies en la comunidad

- **Índice de Margalef**

El índice de Margalef es un índice de riqueza en el cual se transforma el número de especies detectadas por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra (Moreno, 2001).

Este índice se aplica con la siguiente fórmula (4) para la determinación de la diversidad.

$$I = \frac{S-1}{\log n} \quad (4)$$

S: Número de especies

N: Número de individuos por especie

Logn: Logaritmo natural

- **Índice de Saprobiidad (Pantle-Buck)**

Se aplicó para determinar el grado de saprobiedad en la que se encuentra el ecosistema de estudio con cada una de las variables necesarias para el cálculo y finalmente se comparó con los criterios de saprobiedad dados, que permitieron determinar la clase de contaminación que presenta el cuerpo de agua (Miliarium, 2005). En la fórmula consta un valor “h” el cual se asignó según a la abundancia de cada especie en el grupo saprobiano y otro valor “s” a la agrupación sapróbica, según la clasificación efectuada por Liebmann, sin embargo, esta lista no toma en cuenta a especies de macroinvertebrados, para ello se analizó las características descritas en guías de macroinvertebrados y relacionando con el índice BMWP/Col para otorgarle un valor a la saprobiedad de la especie encontrada. El cálculo del índice se realizó mediante la fórmula (5) que Pantle y Buck modificaron:

$$S = \frac{\sum s \cdot h}{\sum h} \quad (5)$$

Donde:

s = grado de saprobiedad.

h= abundancia de cada especie.

Valor s

Oligosaprófico= 1

Beta_ mesosaprófico =2

Alfa_ mesosaprófico =3

Polisaprófico= 4

Valor h Relación a porcentajes según su frecuencia relativa

Ocasional=1 0-33,33%

Frecuente =2 33,34-66.66%

Muy frecuente 3 66,67-100%

Los valores de la aplicación de la fórmula obtenidos se interpretaron de la siguiente manera:

- 1,0 – 1,5 = oligosaprobiedad -Ausencia de contaminación.
- 1,5 – 2,5= b-mesosaprobiedad- Contaminación orgánica débil.
- 2,5 – 3,5= a- mesosaprobiedad -Contaminación orgánica fuerte.
- 3,5 – 4,0= polisaprobiedad -Contaminación orgánica muy fuerte.

• Índice de sensibilidad

Este índice toma en cuenta el grado de sensibilidad que tienen las diferentes familias de macroinvertebrados a los contaminantes. Por esta razón, se determinó la presencia de los diferentes grupos de macroinvertebrados, y no su abundancia y se asignó un número que indica su sensibilidad a los contaminantes (Tabla 3). Luego

se sumó cada familia encontrada en el estudio y se comparó con las categorías de calidad de agua que van desde muy bueno a muy malo.

Tabla 3. Valores de sensibilidad para las diferentes familias de Macroinvertebrados

Clasificación	Sensibilidad	Clasificación	Sensibilidad
Anisoptera	8	Leptohyphidae	7
Physidae	3	Leptophlebiidae	9
Baetidae	7	Naucoridae	7
Ceratopogonidae	3	Oligochaeta	1
Chironomidae	2	Oligoneuridae	10
Corydalidae	6	Perlidae	10
Elmidae	6	Philopotamidae	8
Euthyplociidae	9	Psephenidae	10
Gastropoda	3	Ptilodactylidae	10
Glossosomatidae	7	Pyralidae	5
Gordioidea	3	Simuliidae	8
Hirudinea	3	Tipulidae	3
Hydrachnidae	10	Turbellaria	5
Hydrobiosidae	9	Veliidae	8
Hydropsichidae	5	Zygoptera	8
Leptoceridae	9	Otros grupos	?

Fuente: Carrera y Fierro, (2001)

Este índice clasifica el valor de acuerdo con los cinco grupos, calcula el rango a través de la suma de cada familia encontrada en el estudio y se determinará las categorías de calidad de agua de acuerdo a los datos obtenidos en la investigación, (Tabla 4).

Tabla 4. Índice de Sensibilidad para determinar la calidad de agua

Sensibilidad	Calidad de Agua	Clasificación
No aceptan contaminantes	Muy buena	101 - 145
Aceptan muy pocos contaminantes	Buena	61 - 100
Aceptan pocos contaminantes	Regular	36 - 60
Aceptan mayor cantidad de contaminantes	Mala	16 - 35
Aceptan muchos contaminantes	Muy mala	0 - 15

Fuente: Carrera y Fierro, (2001).

3.3.2 Metodología para evaluar la calidad del agua mediante el análisis de los índices EPT Y BMWP/ Col, ABI y los parámetros Físico-Químicos en el área de estudio

Para llevar a cabo el segundo objetivo específico, fue necesario la realización de cada uno de los puntos detallados a continuación.

- **Índice EPT**

Según Carrera y Fierro (2001) definen que el índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera), permite analizar tres grupos de macroinvertebrados considerados como bioindicadores por su alta sensibilidad ante la presencia de contaminantes. Para el cálculo de este índice se sumó la abundancia de cada individuo por cada una de las familias pertenecientes a los órdenes: Ephemeroptera, Plecóptera y Trichoptera el resultado se dividió para el total de abundancia de individuos presentes en cada uno de los puntos de muestreo y se multiplicó por cien, el resultado es un porcentaje que tiene cuatro categorías (Tabla 5).

Tabla 5. Categorías para análisis del Índice EPT

Porcentaje	Categoría
0- 24%	Mala
25-49%	Regular
50-74%	Buena
75-100%	Muy Buena

Fuente: Carrera y Fierro (2001).

- **Índice BMWP (Biological Monitoring Working Party)**

Permitió evaluar la calidad del agua de forma cualitativa, teniendo en cuenta el nivel taxonómico de familias de macroinvertebrados acuáticos, donde el máximo porcentaje se les asigna a las especies sensibles indicadoras de aguas limpias con

un valor de 10, y el mínimo a las tolerantes, indicadoras de mayor contaminación con el valor de 1 como se muestra en la Tabla 6. Mientras que para el resto de las familias fluctúa entre 9 y 2 según el grado de tolerancia que los macroinvertebrados presenten frente a la contaminación (Roldán, 1999).

Tabla 6. Valores asignados para determinar la calidad de agua según BMWP (Biological Monitoring Working Party)

Familias	Puntuación BMWP/Col
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blephariceridae, Calamoceratiade, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Oligoneuridae, Odontoceridae, Perlidae, Ptilodactylidae, Polythoridae, Psephenidae.	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Philopotamidae, Saldidae, Simuliidae, Vellidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancyliidae, Corydalidae, Dryopidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae.	6
Belostomatidae, Dugesiidae, Gelastocoridae, Hydropsychidae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae, Notonectidae.	5
Curculionidae, Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeriidae, Lymnaeidae, Hhydraenidae, Hydrometridae, Pschycodidae, Scarabidae.	4
Ceratopogonidae, Glossiphonidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Chironomidae, Culicidae, Muscidae, Sciomyzidae.	2
Oligochaeta, Tubicidae.	1

Fuente: Roldán, (2003).

De acuerdo con este índice se clasifican en cinco grupos, donde se suma el valor asignado a cada familia encontrada en el estudio de acuerdo a su valoración y se compara con la Tabla 7 de Índice BMWP/Col.

Tabla 7. Clases de calidad de agua, valores BMWP/Col, Criterios de Calidad y colores para representaciones cartográficas de corrientes

Clase	Calidad	BMWP	Significado	Color
I	Bueno	101-150	Aguas muy limpias, no contaminadas o poco alteradas.	Azul
II	Aceptable	61 – 100	Aguas ligeramente contaminadas	Verde
III	Dudosa	36 – 60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16 – 35	Aguas de calidad mala, muy contaminadas.	Naranja
V	Muy critica	<15	Aguas fuertemente contaminadas.	Rojo

Fuente: Roldán, (2003).

- **Índice ABI (índice biótico andino)**

Elaborado por estudios que incluyen descripciones taxonómicas hasta estudios ecológicos y de impacto ambiental, su cálculo es similar al índice BMWP, pero se enfoca en grupos de macroinvertebrados presentes en zonas altoandinas, que tienen su distribución por encima de los 2000 m s.n.m, el cual consistirá en una suma de las puntuaciones de todas las familias presentes en el sitio. En la Tabla 8 se muestran los niveles de tolerancia/sensibilidad de cada familia los cuales se han derivado principalmente de presiones provenientes de contaminación orgánica.

Tabla 8. Clases y valores ABI, Criterios de Calidad

Orden	Familia	Puntuación	Orden	Familia	Puntuación
Turbellaria		5	Lepidoptera	Pyrilidae	4
Hirudinea		3	Coleoptera	Ptilodactylidae	5
Oligochaeta		1		Lampyridae	5
Gasteropoda	Ancylidae	6		Psephenidae	5
	Physidae	3		(Helodidae)	5
	Hydrobiidae	3		Staphylinidae	3
	Limnaeidae	3		Elmidae	5
	Planorbidae	3		Dryopidae	5
Bivalvia	Sphaeriidae	3		Gyrinidae	3
Amphipoda	Hyalellidae	6		Dytiscidae	3
Ostracoda		3		Hydrophilidae	3
Hydracarina		4		Hydraenidae	5
Ephemeroptera	Baetidae	4	Diptera	Blepharoceridae	10
	Leptophlebiidae	10		Simuliidae	5
	Leptohyphidae	7		Tabanidae	4
	Oligoneuridae	10		Tipulidae	5
Odonata	Aeshnidae	6		Limoniidae	4
	Gomphidae	8		Ceratopogonidae	4
	Libellulidae	6		Dixidae	4
	Coenagrionidae	6		Psychodidae	3
	Calopterygidae	8		Dolichopodidae	4
	Polythoridae	10		Stratiomyidae	4
Plecoptera	Perlidae	10		Empididae	4
	Gripopterygidae	10		Chironomidae	2
Heteroptera	Veliidae	5		Culicidae	2
	Gerridae	5		Muscidae	2
	Corixidae	5		Ephydriidae	2
	Notonectidae	5		Athericidae	10
	Belostomatidae	4		Syrphidae	1
Trichoptera	Helicopsychidae	10			
	Calamoceratidae	10			
	Leptoceridae	8			
	Hydroptilidae	6			
	Hydrobiosidae	8			
	Glossosomatidae	7			
	Anomalopsychidae	10			
	Philopotamidae	8			
	Limnephilidae	7			

Fuente: Ríos, Acosta y Prat, (2014).

De acuerdo con este índice se clasificó en cinco grupos (Tabla 9), para el cálculo de este, se sumó el valor asignado a cada familia encontrado en el estudio de acuerdo con su valoración y se comparó entre los criterios de calidad que van de buena a muy crítica, queriendo obtener el grado de contaminación o no, en el que se encuentre el ecosistema hídrico de forma que brindó un criterio de calidad con el que se evaluó el ecosistema.

Tabla 9. Clases de calidad de agua, valores ABI, Criterios de Calidad

ABI	Significado
> 150, 101 - 120	Aguas muy limpias a limpias
61 - 100	Aguas ligeramente contaminadas
36 - 60	Aguas moderadamente contaminadas
16 - 35	Aguas muy contaminadas
< 15	Aguas fuertemente contaminadas

Fuente: Ríos, Acosta y Prat, (2014).

- **Determinación de parámetros físico-químicos *in situ* y *ex situ***

Los parámetros físicos y químicos se midieron en cada una de las salidas de campo, uno de los equipos utilizados es el sensor sumergible multímetro YSI, que permitió evaluar temperatura (°C), pH, conductividad eléctrica (mS/cm), oxígeno disuelto (mg/L TDS) y turbidez (NTU); todos estos parámetros se evaluaron *in situ* y permitieron determinar cómo las características del afluente interactúan con los macroinvertebrados bentónicos. Todas las mediciones de los diferentes parámetros se deben anotar en la libreta de campo (Comisión Administradora del Río Uruguay, 2011).

Para la evaluación de los parámetros se verificó que el sensor sumergible multímetro YSI, esté en buen estado tenga las baterías cargadas y que se encuentre debidamente calibrado; una vez ubicado el punto de muestreo, se descendió el

equipo teniendo en cuenta que no sufra daños que provoquen falsas mediciones. En el caso de obtenerse medidas dudosas se debe tomar más de tres registros (Vives, 2003). A medida que se tomó los datos *in situ* se recolectaron muestras de agua lo que permitió determinar la calidad del agua del Lago San Pablo mediante la cuantificación de concentración de nutrientes. Para esto se utilizaron botellas de plástico de 1 litro para facilitar el transporte mediante una nevera portátil con refrigerantes hasta el laboratorio. En cada uno de los puntos de muestreo se realizaron análisis de: fosfatos, sulfatos, nitritos y nitratos. Las tomas de muestras se colectaron en los mismos puntos tanto para la temporada lluviosa como para la temporada seca; posteriormente se llevaron para análisis de laboratorio (Vives, 2003).

3.3.3 Metodología para analizar la relación de los parámetros Físico-Químicos con la presencia o ausencia de microorganismos bentónicos

Para cumplir el objetivo número tres, se aplicó el análisis de correspondencia Canónico que se detalla a continuación.

- **Análisis de correspondencia Canónico (CCA)**

El análisis de CCA permite obtener respuestas a los acontecimientos de las comunidades bióticas con respecto al ecosistema en el que se encuentran, en este caso se comparó las variables de macroinvertebrados con los parámetros físico-químicos, mismos que fueron graficados a través de vectores que representen sus correlaciones positivas y negativas. Los datos de ambas variables fueron analizados mediante el uso del software estadístico XLSTAT para Microsoft Excel, dando como resultado un diagrama el cual representa las variables dependientes e independientes dentro de un plano cartesiano subdividido en cuatro ejes de lectura (Greenacre, 2008).

3.3.4 Metodología para elaborar una guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos de Lagos Altoandinos, en base a los resultados obtenidos en el Lago San Pablo

A continuación, se da a conocer la metodología que se utilizó para elaborar la guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos de Lagos Altoandinos, según los resultados obtenidos.

- **Guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos**

Para llevar a cabo el cuarto objetivo que consiste en elaborar una guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos de Lagos Altoandinos, en base a los resultados obtenidos en el Lago San Pablo, se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

La guía de identificación fue elaborada de manera didáctica que permita la pronta identificación y clasificación de los macroinvertebrados bentónicos, consta de fotos macroinvertebrados encontrados con sus respectivas características como phylum, clase, orden, familia, género, especie, nombre común, clasificación trófica, alimentación, valores referenciales de la aplicación de los distintos índices y de manera clara si son un indicador de agua de mal calidad o buena.

El plan de monitoreo tiene todos los pasos que se requieren para realizar un monitoreo con macroinvertebrados bentónicos como son los materiales a utilizar, frecuencia del muestreo, métodos de muestreo, identificación, toma de parámetros físico-químicos, aplicación de índices e interpretación de resultados. A fin de que estos instrumentos sirvan para futuras investigaciones y seguimientos posibles de las entidades encargadas del control de ecosistemas, con el objetivo de generar propuestas enfocadas a la conservación de la biodiversidad.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presenta los datos obtenidos tanto en la fase de campo y laboratorio, los cuales fueron realizados de acuerdo a los objetivos planteados.

4.1 Evaluación de la abundancia, riqueza, diversidad y sensibilidad de los macroinvertebrados en el Lago San Pablo

Aplicando la metodología propuesta se obtuvieron los siguientes resultados:

4.1.1 Caracterización de los puntos de muestreo

En el Lago San Pablo fueron ubicados 10 puntos de muestreo los cuales se localizan en la zona litoral. Para la selección de los puntos se tomó en cuenta características como la distancia, vegetación, tipo de sustrato, entradas y salidas de agua, y sitios de referencia de la localidad como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Coordenadas puntos de Muestreo Lago San Pablo

Código de Punto	Coordenadas			Sitio de referencia	Especificación
	Longitud	Latitud	Altitud		
P1	W078°14.290`	N00°12.897`	2679	Primer Muelle	Zona Litoral
P2	W078°14.009`	N00°13.189`	2679	Salida de Agua	Zona Litoral
P3	W078°13.169`	N00°13.038`	2679	Hosteria-Piscina	Zona Litoral
P4	W078°12.961`	N00°12.849`	2679	Cultivos Maíz	Zona Litoral
P5	W078°12.692`	N00°12.620`	2679	Parque Náutico San Pablo	Zona Litoral
P6	W078°12.427`	N00°12.370`	2679	Hosterías	Zona Litoral
P7	W00°12.499`	N00°12.141`	2679	Parque Acuático Araque	Zona Litoral
P8	W078°12.913`	N00°11.850`	2679	Salida Río Itambi	Zona Litoral
P9	W078°13.279`	N00°11.891`	2679	Muelle Cachiviro	Zona Litoral
P10	W078°13.268`	N00°11.888`	2679	Hostería Puerto Lago	Zona Litoral

La distribución geográfica de los puntos de muestreo se observa en la Figura 3, con lo cual queda denotado que toda el área de estudio fue analizada.



Figura 3. Puntos de Muestreo Lago San Pablo

4.1.2 Determinación de la comunidad bentónica del Lago San Pablo

La investigación determinó que existieron 9536 individuos de macroinvertebrados bentónicos, distribuidos en 20 géneros, 18 familias y 15 órdenes dentro del Lago San Pablo (Anexo1); estas comunidades bentónicas se encontraron en la zona litoral durante las dos épocas monitoreadas. La mayor presencia de individuos fue representada por la familia Gamaridae del género *Gammarus* que presentó 5347 individuos con un porcentaje del total de especies de 56.07%, seguida de la familia Physidae, género *Physa* con 1562 individuos con un valor de 16.38%, por otra parte la familia Syrphidae del género *Syrphus* presentó 1 individuo con un tanto por ciento de 0.011% al igual que la familia Arrenuridae del género *Arrenus* son los dos géneros con menor presencia de individuos en las dos épocas de muestreo del Lago San Pablo como se presenta en la Figura 4 y los datos de presencia de cada individuo y su taxonomía Anexo1.

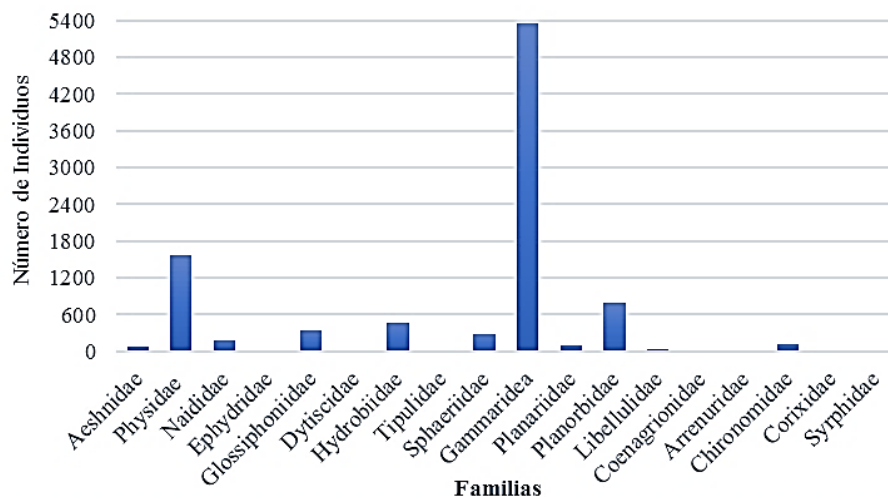


Figura 4. Familias presentes en la zona litoral del Lago San Pablo

Se determinó que el punto con mayor número de individuos en la época seca fue el Punto P5 -Ocon 866 individuos de los cuales gran parte pertenecen a la familia Hydrobiidae y el Punto P4 con 680 individuos de la familia Gammaridae, por otra parte, los puntos P1 con 90 individuos la mayoría de la familia Hydrobiidae y P6 con 121 individuos pertenecientes a la familia Gammaridae fueron los puntos con menor individuos presentes. Mientras en la época lluviosa los puntos P10 con 1850 individuos y P4 con 854 individuos fueron los puntos con mayor presencia de individuos de la familia Gammaridae; en contraste con los puntos de menor presencia de individuos como fueron los puntos P2 con 55 individuos la mayoría de la familia Gammaridae y P6 con 71 individuos en su mayor parte de la familia Physidae.

Los puntos durante las dos épocas con mayor presencia de individuos son P10 con 2148 individuos y con menor presencia de individuos P6 con 192 distribuidos en los distintos géneros y familias que fueron encontradas en la zona litoral del Lago San Pablo Figura 5 y Anexos 2 y 3.

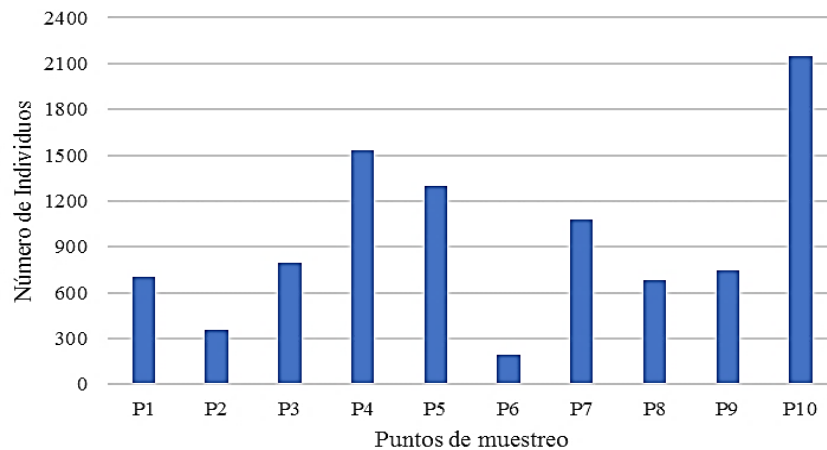


Figura 5. Total de individuos presentes en cada punto de muestreo del Lago San Pablo

En esta investigación las familias Gammaridae y Physidae pertenecientes a la clase Malacostraca y Gastropoda respectivamente fueron las más abundantes debido a que son familias que por lo general se encuentran en sitios con poca circulación de agua, menor porcentaje de entrada de luz, baja concentración de oxígeno y gran acumulación de materia orgánica lo que permite su desarrollo (Escaleras, 2017). Resultados similares fueron registrados por Burneo y Gunkel (2003) en el Río Itambí, Otavalo, donde se registró la presencia de la familia Physidae en estaciones donde hubo influencia de entradas de aguas residuales lo que alteró las condiciones del río y aumentó la concentración de materia orgánica, En conclusión, en los ecosistemas acuáticos hay numerosos factores abióticos que sirven para explicar la variación en la diversidad y organismos que habitan en ellos.

4.1.3 Índices de diversidad

Los índices analizados fueron de Simpson y Margalef, los cuales fueron desarrollados con el fin de evaluar la diversidad de las comunidades bentónicas. Se centró el análisis en la riqueza específica y estructura de estos organismos, dada su respuesta a la calidad del ambiente. La presencia de los individuos ha sido marcada por la época lluviosa y la época seca, también aquí se analizó la diversidad según estas etapas climatológicas.

4.1.3.1 Índice de diversidad en la época lluviosa

Para analizar la diversidad de los macrobentos en la época lluviosa se procedió a calcular tanto los índices de Simpson y de Margalef, como la dominancia y la homogeneidad, para los 10 puntos de muestreo, con el fin de expresar la riqueza de la comunidad bentónica y su respectiva composición. Se determinó que el punto con mayor diversidad es el P3 con un valor de 0.77 para el índice de Simpson y el punto con menor diversidad es P10 con 0.09; mientras que mayor dominancia se determinó en el punto P10 con 0.91 y menor en el P3 con 0.23 como se muestra en la Tabla 11. Los valores de la dominancia son inversamente proporcionales a los valores presentados en el índice de Simpson, también son complementarios porque la suma de ambos valores da un valor de 1; en consecuencia, la evaluación de la diversidad no presenta inconsistencias.

La dominancia del punto P10 se debe principalmente a la presencia de un alto número de individuos pertenecientes a una sola familia, en este caso, la familia Gammaridae, mientras que el punto P3 es el más diverso ya que cuenta con individuos pertenecientes a 7 géneros diferentes. Las diferencias en la dominancia entre sitios de muestreo podrían estar influenciadas por las condiciones del ambiente acuático; cuando la comunidad de macroinvertebrados es afectada con un descenso de la diversidad de insectos acuáticos sensibles a causa de la abundante materia orgánica en descomposición, aumentando la dominancia de familias tolerantes con fuentes adicionales de alimento (Yépez, et al., 2017).

Entonces dado que el valor total del índice del Simpson es de 0.51 y el valor de dominancia es de 0.49, representa que existe un valor intermedio de diversidad y que existen familias dominantes en esta época como son la familia Physidae, Planorbidae y Gammaridae. Por su parte, el índice de Margalef y la homogeneidad presentan otros resultados complementarios a los anteriores. Según Roldán (1999), si el índice de Margalef presenta valores de diversidad mayores a 3, representa sitios de referencia muy diversos. Este valor es complementario con la homogeneidad del

sitio, debido que son valores inversamente proporcionales. Dado que la diversidad es baja según Margalef, la homogeneidad por lo tanto será alta, si se considera que el valor total es de 0.80 (valor máximo 1), por lo cual refleja equitatividad en la comunidad bentónica.

Tabla 11. Índices de diversidad de la época lluviosa

Época Lluviosa		
Puntos de muestreo	Dominancia	Simpson
P1	0.55	0.45
P2	0.30	0.70
P3	0.23	0.77
P4	0.26	0.74
P5	0.66	0.34
P6	0.27	0.73
P7	0.27	0.73
P8	0.83	0.17
P9	0.67	0.33
P10	0.91	0.09

Como se muestra en la Tabla 12 los sitios con mayor diversidad según Margalef son los puntos P1 con un valor 2.18 y P6 con valor 2.11 y para homogeneidad el punto con equidad alta fue P2 con 0.74 para este índice. En definitiva, para el lago San Pablo en la época lluviosa, existe baja diversidad debido que no hay riqueza específica en familias, por ello el valor del índice de Margalef de 1.53 es bajo y no presenta información relevante, dado que este índice varía de acuerdo a los métodos de muestreo, el tipo del sustrato y sobre todo a la estacionalidad o época del año (Roldán, 1999), siendo la distribución de la comunidad bentónica más equitativa según los resultados expuestos en este estudio.

Tabla 12. Índices de diversidad de la época lluviosa

Época Lluviosa		
Puntos de muestreo	Homogeneidad	Margalef
P1	0.41	2.18
P2	0.74	2.00
P3	0.83	1.12
P4	0.64	1.78
P5	0.36	1.48
P6	0.70	2.11
P7	0.61	2.01
P8	0.23	1.03
P9	0.39	0.63
P10	0.12	0.93

4.1.3.2 Índice de diversidad en la época seca

Los valores de la dominancia y los valores presentados en el índice de Simpson también son complementarios porque la suma de ambos valores da un valor de 1; en consecuencia, la evaluación de la diversidad no presenta inconsistencias. Por esta razón, se determinó que el punto con mayor diversidad es el P7 con un valor de 0.85 para el índice de Simpson mientras que el punto que menor diversidad presenta es P10 con 0.32; por otro lado, la mayor dominancia se determinó en el P10 con 0.68 mientras que el punto con menor dominancia es P7 con 0.15 como se muestra en la Tabla 13. De acuerdo con Leiva (2004), los altos valores de diversidad se relacionan directamente con un buen balance en las comunidades y con las condiciones del hábitat. Esto concuerda con los resultados obtenidos para el punto P7 con un valor de alto de diversidad ya que cuenta con 15 géneros diferentes. El valor total de dominancia para la época seca fue de 0.39 y de Simpson 0.61 indicando así que no existe una especie dominante y que presenta una alta diversidad con 12 diferentes familias registradas en esta época.

Tabla 13. Índices de Diversidad de la época seca

Época seca		
Puntos de muestreo	Dominancia	Simpson
P1	0.27	0.73
P2	0.27	0.73
P3	0.40	0.60
P4	0.53	0.47
P5	0.24	0.76
P6	0.51	0.49
P7	0.15	0.85
P8	0.29	0.71
P9	0.53	0.47
P10	0.68	0.32

El índice de Margalef y la homogeneidad presentan otros resultados complementarios a los anteriores. Como se muestra en la Tabla 14 los sitios con mayor diversidad según Margalef son los puntos P3 con 2.04 y P7 con 2.48 y para Homogeneidad los puntos con equidad alta fueron el punto P7 con 0.80 y el punto P5 con 0.77 para este índice.

Tabla 14. Índices de Diversidad de la época seca

Época seca		
Puntos de muestreo	Homogeneidad	Margalef
P1	0.75	1.33
P2	0.67	1.75
P3	0.52	2.04
P4	0.48	1.23
P5	0.77	1.04
P6	0.53	1.67
P7	0.80	2.48
P8	0.68	1.36
P9	0.46	1.33
P10	0.36	1.40

En definitiva, para el lago San Pablo en la época seca existe baja diversidad debido que no hay riqueza específica en familias, por ello el índice de Margalef con un valor de 1.56 más alto al presentado en la época lluviosa, por lo cual la diversidad es baja según Margalef, la homogeneidad por lo tanto será alta, si se considera que el valor total fue de 0.60 (valor máximo 1), lo cual refleja equitatividad en la comunidad bentónica (Roldán, 1999).

4.1.4 Índices sapróbicos

En esta etapa se aplicó índices como: de Saprobiedad Pantle-Buck y de Shannon-Weaver. Cada índice se diferencia por estimar el nivel de tolerancia de un organismo y su importancia al identificar cada macroinvertebrado, como organismo de asimilabilidad a la contaminación orgánica.

4.1.4.1 Índice de saprobiedad Pantle-Buck

Realizados los cálculos respectivos se obtuvieron los valores de saprobiedad de cada uno de los géneros y mediante la aplicación del índice de Pantle-Buck clasificaron en 4 categorías diferentes. En la Tabla 15 se observa que los géneros con mayor ponderación pertenecen a la familia Syrphidae y Chironomidae categorizados en Polisaprobiedad, que quiere decir, organismos de agua “Fuertemente contaminada”. Los géneros *Rhantus* y *Copelatus* fueron categorizados en Oligosaprobiedad que manifiesta que los organismos con valores menores a 1.5 pertenecen a ecosistemas acuáticos poco contaminados, como consecuencia de este estudio se realizó como observación que este índice posee únicamente cuatro categorías negativas, debido a que los organismos poseen cierto nivel de tolerancia siendo el objetivo de este índice, valorar la tolerancia mínima y máxima de los géneros especificados.

Tabla 15. Índice de Saprobiedad Pantle-Buck

Familia	Género	Frecuencia Relativa %	Clasificación (h)	Clasificación Saprobian(s)	
Aeshnidae	<i>Rhionaeschna</i>	0.786	1	2	Beta-mesosapróbico
Arrenuridae	<i>Arrenus</i>	0.010	1	2	Beta-mesosapróbico
Chironomidae	<i>Chironomus</i>	1.227	1	4	Polisapróbico
Coenagrionidae	<i>Ischnura</i>	0.252	1	2	Beta-mesosapróbico
Corixidae	<i>Trichocorixa</i>	0.231	1	2	Beta-mesosapróbico
Dytiscidae	<i>Rhantus</i>	0.031	1	1	Oligosapróbico
Dytiscidae	<i>Copelatus</i>	0.126	1	1	Oligosapróbico
Dytiscidae	<i>Rhantus</i>	0.031	1	1	Oligosapróbico
Ephydriidae	<i>Sp no identificada</i>	0.168	1	3	Alfa-mesosapróbico
Gammaridea	<i>Gammaridea</i>	56.072	2	2	Beta-mesosapróbico
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	0.147	1	3	Alfa-mesosapróbico
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	1.500	1	3	Alfa-mesosapróbico
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	0.021	1	3	Alfa-mesosapróbico
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	0.136	1	3	Alfa-mesosapróbico
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	0.986	1	3	Alfa-mesosapróbico
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	2.066	1	3	Alfa-mesosapróbico
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	0.241	1	3	Alfa-mesosapróbico
Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>	4.897	1	2	Beta-mesosapróbico
Libellulidae	<i>Sympetrum</i>	0.419	1	2	Beta-mesosapróbico
Naididae	<i>Paranais</i>	0.493	1	3	Alfa-mesosapróbico
Naididae	<i>Haplotaxida:</i>	1.405	1	3	Alfa-mesosapróbico
Physidae	<i>Physa</i>	16.380	1	3	Alfa-mesosapróbico
Planariidae	<i>Planaria</i>	1.101	1	2	Beta-mesosapróbico
Planorbidae	<i>Gyraulu</i>	8.389	1	3	Alfa-mesosapróbico
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	2.852	1	3	Alfa-mesosapróbico
Syrphidae		0.010	1	4	Polisapróbico
Tipulidae	<i>Tipulida</i>	0.021	1	3	Alfa-mesosapróbico
TOTAL		100	28		

SAPROBIEDAD= 2.54 α - mesosaprobico (Contaminación orgánica fuerte)

Los géneros con mayor ponderación pertenecen a la familia Syrphidae y Chironomidae categorizados en polisaprobiedad, que quiere decir, organismos de agua “Fuertemente contaminada”. Esto significa que tales géneros según Roldán (1999) habitan entre aguas que muestran síntomas de contaminación, con poca presencia de oxígeno en el agua. Resultados similares fueron registrados por Escaleras (2017) en el Lago Yahuarcocha, Ibarra, donde se registró la presencia de dos géneros, pertenecientes a la familia Naididae, Branchiura y Paranais, categorizados en polisaprobio, que quiere decir, organismos de agua “Súper contaminada”. Estos datos conforman sistemas sapróbicos propios de aguas muy contaminadas, con perturbaciones físicas-químicas representativas, producto de factores como bajo OD y pH ácido.

A nivel general se determinó un valor de 2.54 caracterizado en α - mesosaprobico lo que refleja contaminación orgánica fuerte, que según Roldán (1999) y Segnini (2003), expresan en sus investigaciones, que, si el número de saprobiedad de los organismos evaluados no se encuentran ponderados en una calidad aceptable, esta tiende a representar una pésima localidad con fluctuaciones de contaminación constante.

4.1.5 Índice de sensibilidad de Carrera y Fierro

Para la aplicación del índice de Sensibilidad se tomaron en cuenta solo 10 de las 18 familias presentes en el lago San Pablo, debido a que solo estas 10 familias se encuentran dentro del listado de sensibilidad de Carrera y Fierro (2001). Los valores brindados a los organismos presentes en el lago según la clasificación de Carrera y Fierro (2001) varían considerablemente, clasificando a tres familias: Aeshnidae, Libellulidae, dentro del grupo de clasificación Anisóptera y la familia Coenagrionidae dentro del grupo Zigóptero con un valor de 8, es decir que presentan alta sensibilidad a cambios del ambiente; finalmente las familias que menor sensibilidad presentaron fueron Chironomidae y Naididae dentro del grupo Oligochaeta con un valor de sensibilidad de 2 y 1 respectivamente (Tabla 16).

Una vez asignados los valores de sensibilidad a las diferentes familias de macroinvertebrados, se obtuvo mediante la suma total de los valores asignados un total de 28, valor que según el sistema de categorización de sensibilidad se encuentra en un rango de 16 a 35 dando como resultado que estos organismos colectados pueden estar expuestos a altas cantidades de contaminantes y grandes concentraciones de materia orgánica. Por ello la calidad del agua es mala.

Tabla 16. Aplicación Índice de Sensibilidad

Clasificación Carrera y Fierro	Familia	Género	Valor Sensibilidad
Anisóptera	Aeshnidae	<i>Rhionaeschna</i>	8
	Libellulidae	<i>Sympetrum</i>	
Chironomidae	Chironomidae	<i>Chironomus</i>	2
Zigóptero	Coenagrionidae	<i>Ischnura</i>	8
	Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>	
Gastrópoda	Planorbidae	<i>Gyraulu</i>	3
	Physidae	<i>Physa</i>	
Tipulidae	Tipulidae	<i>Tipulida</i>	3
Oligochaeta	Naididae	<i>Paranaïs</i>	1
	Naididae	<i>Haplotaxida:</i>	
Hirudinea	Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	3
TOTAL			28

Las familias Aeshnidae y Coenagrionidae presentes en el lago San Pablo reciben calificaciones altas, es decir que presentan alta sensibilidad a cambios del ambiente mientras que en su mayoría se encontraron familias con un valor de sensibilidad bajo, como Chironomidae y Naididae las que se considera que pueden estar expuestas a altas cantidades de contaminantes y de materia orgánica. En contraste al estudio de Escaleras (2017), donde los valores brindados a los organismos presentes en el lago Yahuarcocha no reciben calificaciones altas, el valor más alto es 3, es decir que todos son poco sensibles a los cambios ya que poseen una adaptación al medio.

4.2 Evaluación de la calidad del agua mediante el análisis de los índices: EPT, BMWP, ABI y los parámetros físico-químicos en el área de estudio

Para la realización de este objetivo se aplicaron los índices: EPT, BMWP, ABI a las comunidades bentónicas encontradas, y posteriormente el análisis de parámetros físico-químicos a las muestras de agua colectadas.

4.2.1 Índice EPT

No se aplicó el índice EPT (Ephemeroptera, Plecóptera, Trichoptera), ya que los tres grupos de macroinvertebrados que este índice toma en cuenta por ser considerados altamente sensibles y manifestarse perceptivos a los contaminantes presentes en el ecosistema, no se encontraron en ninguno de los puntos de muestreo localizados en el lago San Pablo.

4.2.2 Índice BMWP /Col

Los valores más altos de sensibilidad a contaminantes pertenecen a la familia Dytiscidae con dos géneros *Rhantus* y *Copelatus* con un valor de 9, seguido por la familia Hydrobiidae con el género *Heleobia* con un valor de 8, mientras que dentro de las familias menos sensibles con un valor de 1 fueron Naididae con dos géneros *Paranais* y *Haplotaxida* y con un valor de 2 la familia Chironomidae con el género *Chironomus* (Tabla 17).

Tabla 17. Aplicación índice BMW/Col

Familia	Género	Valor
Aeshnidae	<i>Rhionaeschna</i>	6
Arrenuridae	<i>Arrenus</i>	
Chironomidae	<i>Chironomus</i>	2
Coenagrionidae	<i>Ischnura</i>	

Corixidae	<i>Trichocorixa</i>	7
Dytiscidae	<i>Rhantus</i>	
Dytiscidae	<i>Copelatus</i>	9
Dytiscidae	<i>Rhantus</i>	
Ephydriidae	<i>Sp. no identificada</i>	-
Gammaridea	<i>Gammaridea</i>	-
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	3
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>	8
Libellulidae	<i>Sympetrum</i>	6
Naididae	<i>Paranaeis</i>	1
Naididae	<i>Haplotaxida:</i>	
Physidae	<i>Physa</i>	3
Planariidae	<i>Planaria</i>	7
Planorbidae	<i>Gyraulus</i>	5
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	4
Syrphidae		
Tipulidae	<i>Tipulida</i>	3
	TOTAL	64

Según el sistema de categorización de BMWP/Col dio como resultado un total de 64 valor que se encuentra en un rango de clase II donde la calidad de agua es ligeramente contaminada, esto se debe a que se registraron individuos pertenecientes a las familias menos sensibles como Naididae con dos géneros *Paranaeis* y *Haplotaxida* y la familia Chironomidae con el género *Chironomus* demostrando que las condiciones del medio no son las adecuadas. Estudios similares realizados en la microcuenca arroyo la quebrada, Colombia, por Ariza (2016) tras la aplicación del índice dieron como resultado que las aguas de la microcuenca a nivel general presentan variaciones en la calidad, que van desde agua muy limpias hasta ligeramente contaminadas. Esto se debe principalmente a la influencia agrícola y ganadera de las zonas.

4.2.3 Índice ABI

El índice presentó puntuaciones de 1 a 6 donde las familias Aeshnidae, Coenagrionidae y Libellulidae obtuvieron la puntuación más alta con un valor de 6, es decir que presentan mayor sensibilidad a cambios del ambiente, mientras que la puntuación más baja pertenece a las familias Syrphidae y Naididae con un valor de 1 siendo las más tolerantes (Tabla 18). Como resultado de la suma de cada una de las puntuaciones se obtuvo un valor de 52 en total, que según el cuadro de clasificación ABI de calidad de aguas se encuentra en un rango de 36 – 60 que pertenece a la clasificación de aguas moderadamente contaminadas.

Tabla 18. Índice ABI

Familia	Género	Puntuación ABI
Aeshnidae	<i>Rhionaeschna</i>	6
Arrenuridae	<i>Arrenus</i>	-
Chironomidae	<i>Chironomus</i>	2
Coenagrionidae	<i>Ischnura</i>	6
Corixidae	<i>Trichocorixa</i>	5
Dytiscidae	<i>Rhantus</i>	
Dytiscidae	<i>Copelatus</i>	3
Dytiscidae	<i>Rhantus</i>	
Ephydriidae	<i>Sp no identificada</i>	2
Gammaridea	<i>Gammaridea</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	3
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Glossiphoniidae	<i>Helobdella</i>	
Hydrobiidae	<i>Heleobia</i>	3
Libellulidae	<i>Sympetrum</i>	6
Naididae	<i>Paranais</i>	1
Naididae	<i>Haplotaxida:</i>	

Physidae	<i>Physa</i>	3
Planariidae	<i>Planaria</i>	-
Planorbidae	<i>Gyraulu</i>	3
Sphaeriidae	<i>Pisidium</i>	3
Syrphidae		1
Tipulidae	<i>Tipulida</i>	5
	TOTAL	52

La calidad del agua con el índice BMWP/Col presenta un resultado dentro del rango perteneciente a la clase II donde la calidad de agua es ligeramente contaminada, sin embargo, con el índice ABI presenta un resultado dentro del rango de aguas moderadamente contaminadas, es decir los dos resultados se encuentran en el mismo criterio de calidad.

Estudios similares de Evaluación de la calidad del agua en la microcuenca del río Chimborazo realizados por Toledo (2015), mediante la utilización de macroinvertebrados con los índices BMWP/Col y ABI en los cinco meses de monitoreo arroja como resultados que la calidad del agua en la microcuenca es dudosa o regular (amarillo) en la parte media-baja y buena (verde) en la parte alta; esto debido a que existe influencia de las actividades antrópicas de comunidades vecinas al río además de las crecidas que se producen en el lecho lo que provoca el cambio brusco de las condiciones de los hábitats de los macroinvertebrados.

4.2.4. Parámetros físico- químicos

Los parámetros físico- químicos que se tomaron en el Lago San Pablo presentaron variaciones en cada una de las épocas, lluviosa y seca. En la época lluviosa se obtuvo una temperatura media de 18.30 °C con temperatura máxima de 19.83 °C y una temperatura mínima de 16.81; mientras que en la época seca muestra una pequeña variación de los valores de la época lluviosa teniendo así una temperatura media de 17.50 °C con una máxima 19.19 °C y mínima 16.74°C.

Para los parámetros de conductividad y salinidad no se muestra mayor variación en las dos épocas, se obtuvo una media de 0.34 mS/cm para la época lluviosa y para la época seca un valor de 0.31 mS/cm en lo correspondiente a conductividad mientras que los valores para salinidad para la época lluviosa y seca fue de 0.17ppt y 0.15ppt, respectivamente. Como se muestra la época lluviosa presenta valores más altos para temperatura, conductividad y salinidad, en contraste al parámetro pH en donde se obtuvo un valor alto para la época seca con 8.09 y un valor de 6.84 para la época lluviosa (Tabla 19).

Tabla 19. Parámetros físico-químicos lago San Pablo

	Temperatura °C		Conductividad Eléctrica mS/cm		Salinidad ppt		pH	
	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca
Min.	16.81	16.74	0.29	0.29	0.14	0.14	6.00	7.45
Max.	19.83	19.19	0.70	0.33	0.35	0.16	7.82	8.43
Desv. Estan.	1.06	0.84	0.13	0.01	0.07	0.00	0.57	0.31
Med.	18.30	17.50	0.34	0.31	0.17	0.15	6.84	8.09

Los parámetros químicos medidos como, oxígeno disuelto, DQO, DBO₅, y fosfatos (PO₄), son mayores en la época lluviosa en contraste con la época seca. Mientras que la época seca los valores más altos con una gran variación son para los parámetros oxígeno disuelto, pH, nitratos (NO₃), nitritos (NO₂) y sulfatos (SO₄). Para oxígeno disuelto en las dos dimensiones se obtuvo una media de 57.02% y 5.35mg/l en la época lluviosa y una media de 72.61% y 6.93 mg/l en la época seca, para valores de DQO mg/l se determinó una media de 15.95mg/l para época lluviosa y una media de 4.75 mg/l para la época seca; se determinó una media de 2.69mg/l para época lluviosa y una media de 2,09 para época seca para el parámetro DBO₅ mg/l (Tabla 20).

Tabla 20. Parámetros físico-químicos lago San Pablo

	OD%		OD mg/l		DQO mg/l		DBO ₅ mg/l	
	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca
Min.	7.20	58.70	0.70	5.67	8.00	2.80	0.40	0.50
Max.	91.40	81.00	8.87	7.76	22.63	8.20	8.40	6.00
Desv. Estan.	26.95	0.28	2.53	0.71	5.81	2.13	2.35	1.69
Med.	57.02	72.61	5.35	6.93	15.95	4.75	2.69	2.09

En Fosfatos (PO₄) se obtuvo medias de 1.29mg/l para época lluviosa y de 0,85 mg/l para época seca. Finalmente, para Nitratos (NO₃), Nitritos (NO₂), Sulfatos (SO₄) para la época seca se determinó medias de 0.80 mg/, 0.20 mg/l y 4.71 mg/l, respectivamente, estos valores son mayores que la época lluviosa en donde se obtuvo para los mismos parámetros químicos mencionados valores de medias de 0.72 mg/l, 0.018 mg/l, y 3.12 mg/l, respectivamente (Tabla 21).

Tabla 21. Parámetros físico-químicos lago San Pablo

	Fosfatos (PO ₄) mg/l		Nitratos (NO ₃) mg/l		Nitritos (NO ₂) mg/l		Sulfatos (SO ₄) mg/l	
	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca	Época Lluviosa	Época Seca
Min.	0.82	0.09	0.10	0.10	0.03	0.05	0.80	0.77
Max.	1.90	1.44	1.90	1.90	0.14	0.73	5.60	9.13
Desv. Estan.	0.35	0.55	0.83	0.80	0.04	0.28	1.71	3.98
Med.	1.29	0.85	0.72	0.80	0.08	0.20	3.12	4.71

En la Figura 6 se presenta los valores mínimos y máximos de todos los parámetros fisicoquímicos representados por columnas, en los cuales por simple observación corroboramos que la época seca, los valores mínimos representados por la columna

azul tiende a ser de mayor valor que los de la época lluviosa, en donde se observa la mayor diferencia para el parámetro oxígeno disuelto en sus dos dimensiones OD% -OD mg/l, siendo mayor el oxígeno disuelto en la época seca.

El valor máximo se encuentra representado por columnas de color naranja que muestra mayor influencia de la época lluviosa en relación con la época seca, para temperatura, oxígeno disuelto, DQO mg/l y DBO₅ mg/l mientras que para los restantes parámetros no se muestra mayor variación en sus máximos.

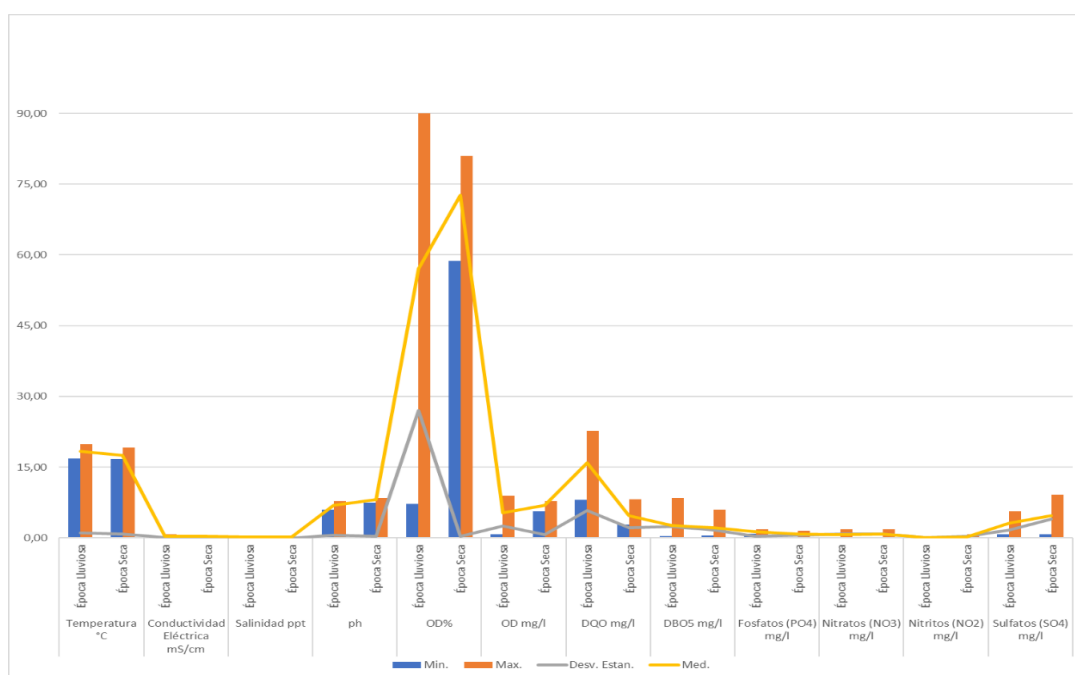


Figura 6. Variación estacional de los parámetros ambientales

La desviación estándar en este caso nos muestra que tan separados se encuentran nuestros datos, es decir asumimos una manera “estándar” al conocer que datos son normales, cuáles de estos exceden o se minimizan de la media, mientras los valores que obtuvimos tengan una misma dirección sin variaciones altas o bajas y sin valores negativos, suponemos que los valores expuestos están en lo normal obteniendo en este caso parámetros que exceden de manera significativa, estos son el oxígeno disuelto, DQO, DBO₅ y sulfatos (SO₄).

El oxígeno disuelto fluctuó entre épocas 5.35 mg/l para la lluviosa y 6.93 mg/l para la temporada seca. Debido quizá a que fue el lugar con mayor superficie libre de plantas flotantes. Este resultado concuerda con el planteamiento de Metcalf y Eddy (1996), quienes afirman que a mayor espejo de agua mayor será la concentración de oxígeno ganado para los diferentes procesos biológicos (fotosíntesis) y físicos (reaireación).

Según Peña et al., (2006); el oxígeno disuelto se considera un indicador de contaminación por materia orgánica debido a descargas de residuales tanto domésticos como industriales en cuerpos de agua, las aguas con concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 4.1 mg/L son consideradas de buena calidad, en el presente estudio se observaron valores que oscilan entre 0 a 10 mg/L. Estudios similares como el de Miño y Rodríguez (2018) realizados en el Lago San Pablo, dio como resultado que el oxígeno disuelto en la columna de agua presenta una media equivalente a 3.22 mg/L, lo que indica un agua poco contaminada ya que el valor es ligeramente inferior al establecido para agua de buena calidad, con una desviación estándar de 2.4.

El pH en época lluviosa fue de 6.84 y 8.09 en la época seca. El mayor promedio se registró en época seca y el más bajo época lluviosa. Por tanto, el pH fue desde ligeramente ácido hasta alcalino. Estos valores están dentro los límites para la supervivencia de los organismos acuáticos (4.5 a 8.5) por lo que esta variable no parece ser un factor estresante (Ramírez y Roldán, 2008). En el estudio del lago realizado en 1998-1999 se confirma que el lago se caracteriza por la alcalinidad de sus aguas, ya que las mediciones se presentaron dentro de un rango de 7.6 a 9 datos que denotaron un pH de tendencia básica en su mayor distribución tanto temporal como espacial (Gunkel y Casallas, 2002). El consumo de dióxido de carbono durante la intensa actividad fotosintética de las comunidades biológicas eleva el pH del agua a valores muy básicos (Lampert y Sommer, 2007).

El parámetro DBO_5 tiene una media de 2.69 mg/l para la época lluviosa y 2.09 mg/l para la época seca. No existe mayor diferencia entre épocas, pero su diferencia se puede dar por el aumento de carga orgánica. Estudios similares como el de Burneo y Gunkel G (2003), realizados en el Río Itambi, Otavalo, manifiestan que cuando el río cruza el pantano humedal los valores mínimos de calidad del agua de O_2 aumenta y DBO_5 se reducen mejorando la calidad del agua y aumentando el número de especies. La influencia de la entrada de agua residual disminuye la concentración de O_2 , mientras que el DBO_5 aumenta, dando como resultado una reducción en la diversidad registrada en Río Itambi.

Los valores de DQO de 15.95 mg/l para época lluviosa y 4.75 mg/l para época seca, muestran una gran variación entre épocas. Determinar este parámetro permite calcular las descargas de los efectos de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores (Yépez, et al., 2017). Estudios similares como el de evaluación de la contaminación del agua mediante parámetros físico químicos en las desembocaduras de los principales afluentes y efluente del Lago San Pablo, realizado por Yáñez (2018), muestra que el promedio de DQO en la vertiente Preñadilla fue de 6.17 mg/l, río Itambi 30 mg/l y 15.5 mg/l en el Desaguadero, estos valores se mantienen bajo el rango de los límites permisibles en cuanto a calidad de agua para la preservación de vida acuática en agua dulce (40 mg/l) y a los límites de descarga en cuerpos de agua dulce (200 mg/l). El valor más alto de DQO corresponde a la entrada del río Itambi, lo cual puede atribuirse a las descargas de aguas residuales, que aumentan la carga orgánica.

Para los parámetros fosfatos se obtuvo medias de 1.29 mg/l para época lluviosa y 0.85 mg/l para la época seca, se mostro una variación entre las dos épocas. Los fosfatos se encuentran en los fertilizantes y detergentes, llegan al agua a través del escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas servidas, al igual que los nitratos las concentraciones desmesuradas de fosfatos en agua puede ocasionar problemas de agotamiento de oxígeno del agua y exceso de materia orgánica producida, las cuales dan lugar a la eutrofización (Marín, 2003).

En el Lago San Pablo se lleva acabo varias actividades turísticas y recreativas, se entiende por uso del agua para fines recreativos en la que existe:

- a) Contacto primario, como en la natación y el buceo, incluidos baños medicinales.
- b) Contacto secundario como en los deportes náuticos y pesca.

Por tal motivo, el análisis según la normativa vigente TULSMA será en base a las tablas de Criterios de calidad de aguas para fines recreativos presentes en la normativa (Tabla 20).

Tabla 22. Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos

Parámetro	Unidad	Máximo Permisible	Lago San Pablo
Potencial de Hidrógeno	pH	6.5 – 8.5	7.47
Oxígeno Disuelto	OD %	No menor al 80% de Concentración de saturación y no menor a 6 mg/l	64.82% 6.14 mg/l

Fuente: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente, 2012.

Al evaluar los datos tomados en el Lago San Pablo en la presente investigación y tomando como referencia la tabla de criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos, se determinó que en cuanto a pH y OD% los datos obtenidos están dentro de los límites establecidos, indicando que es recomendable realizar actividades. Tambien alrededor del Lago San Pablo se realizan actividades agrícolas en donde se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades complementarias, se tomaron en cuenta los datos registrados en la investigación y se realizó una comparación con la tabla 6 del TULSMA, en donde el único parámetro que se encuentra dentro de la tabla es el pH con un límite máximo permisible de 6 a 9, comparado con el valor que se obtuvo en la investigación de 7.47 encontrandose así dentro de los límites permisibles.

4.3. Análisis de la relación de los parámetros físico-químicos con la presencia o ausencia de microorganismos bentónicos

Se realizó análisis de correspondencia canónica para relacionar los parámetros físico-químicos y los macroinvertebrados bentónicos.

4.3.1. Análisis de correspondencias canónica de géneros y parámetros físico-químicos de época lluviosa y seca

Para determinar la relación entre las variables ambientales y las comunidades de macroinvertebrados bentónicos del Lago San Pablo se realizó un análisis de correspondencia canónico (ACC). Dicho análisis aportará información importante sobre el porcentaje de variabilidad de la comunidad de macroinvertebrados que puede ser explicado por el efecto de las variables ambientales. Cada variable físico químico presentará influencia positiva o negativa según la direccionalidad de la misma con respecto al género explicando la variación en las comunidades bentónicas.

- Época lluviosa

La abundancia del género *Physa* tuvo una correlación positiva con la salinidad, es decir que su número aumentó cuando se presentaron altos valores de dicha variable. Estudios de tolerancia a la salinidad de gasterópodos han demostrado que el género *Physa* con un pequeño aumento en la salinidad da lugar a un aumento en el rendimiento biológico hasta una concentración donde es maximizada, y nuevos aumentos en la salinidad entonces resultan en una disminución del rendimiento biológico hasta la muerte (Jacobsen y Forbes, 1997). Además, se tendrán que realizar pruebas sobre la adaptabilidad a cambios de salinidad, ya que Chung (2001) señala que la aclimatación de los organismos acuáticos es más conveniente en el descenso que en el aumento de salinidad (Figura 7).

El género *Gammaridea* tuvo una correlación positiva con el pH, esta variable infirió en el crecimiento de este género, (Figura 7). Se realizaron experimentos para analizar los efectos del pH, sustancias húmicas e interacciones de animales sobre la supervivencia y el estado fisiológico del género *Gammarus*, donde los resultados mostraron que la mortalidad y el estado fisiológico del género *Gammarus*, luego de ser medidos después de 25 días de exposición en 20 corrientes naturales con un rango de pH de 4.3 a 7.5, la respuesta de *Gammarus* al pH bajo fue un aumento de la mortalidad y un menor estado fisiológico de los individuos supervivientes en corrientes con un pH inferior a 6.0 (Hargeby,1990).

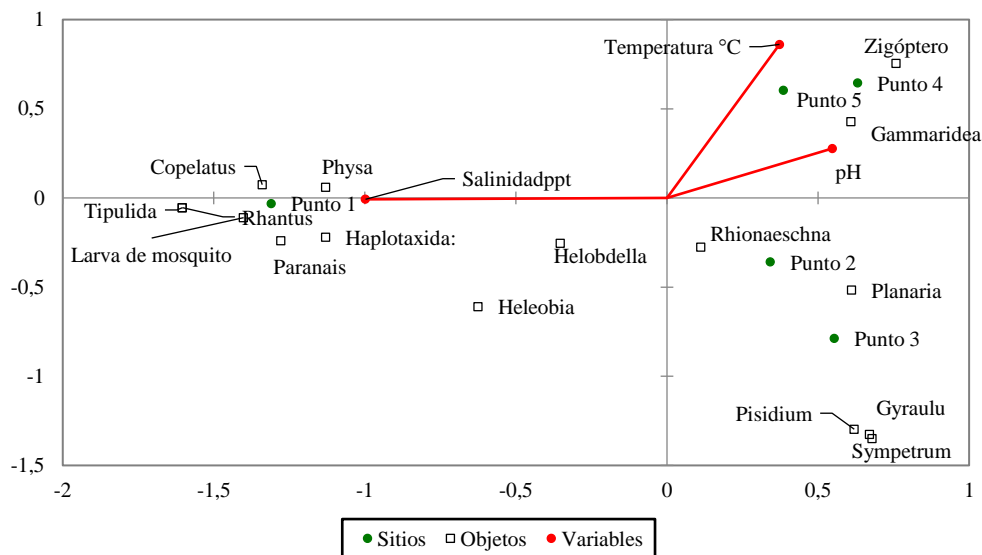


Figura 7. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época lluviosa

Por otra parte, existe una correlación negativa de dicha variable con el género *Helobdella*, es decir que a medida que el pH aumenta el número de individuos pertenecientes a este género disminuye. Investigaciones realizadas por Gullo (2014), en ambientes dulceacuícolas en Buenos Aires, Argentina, cuyo objetivo fue identificar las especies de hirudíneos acuáticos presentes en el área, y analizar las relaciones entre ellas y las variables ambientales, dando como resultado que especies como *Helobdella adistola* y *Helobdella cordobensis*, presentaron menor frecuencia y abundancia, resultaron más sensibles a las variaciones de pH. Sawyer

(1986), señala que este parámetro ejerce escasa influencia directa sobre la abundancia y distribución de los hirudíneos pero podría afectar a los organismos que emplean como alimento. Estas especies probablemente no sean generalistas con respecto a su dieta lo cual podría explicar su abundancia menor.

La abundancia del género *Planaria* tuvo una correlación positiva con el oxígeno disuelto (OD), es decir que su número aumentó cuando se presentaron altos valores de dicha variable, (Figura 8). Un estudio realizado por Muñoz y Vélez (2007), en ecosistemas lóticos del departamento de Antioquia en el extremo noroccidental de Colombia hallaron que 3 especies de planarias identificadas presentan tendencias por aguas con moderada contaminación, tales planarias prefirieron aguas clase II y III (según BMWP/Col). Concluyendo que las condiciones de contaminación orgánica promueven el aumento de la productividad en el agua y por consiguiente una mayor estabilidad de las cadenas alimenticias, permitiendo el establecimiento de potenciales presas; además, según las observaciones *ex situ*, estas especies presentaron cierta capacidad para soportar la disminución de oxígeno disuelto, lo cual ocurre frecuentemente en ambientes contaminados.

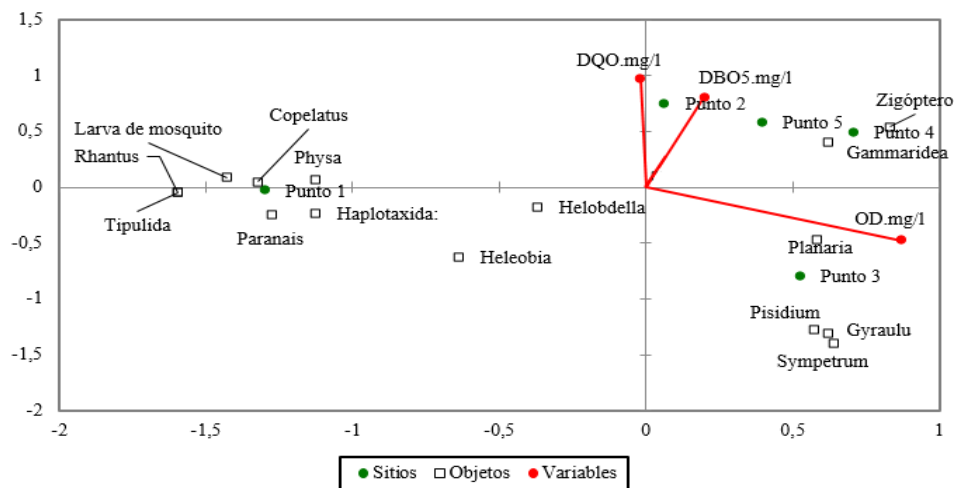


Figura 8. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época lluviosa

Como se muestra en la Figura 9, la abundancia de los géneros *Gyraulus* y *Sympetrum* presentaron una relación positiva con Nitratos (NO_3) mg/l, es decir que a medida que aumenta la concentración de Nitratos aumenta la abundancia de individuos de dichos géneros. Krueger y Waters (1983) afirmaron en su estudio que la obtención anual de macroinvertebrados acuáticos está estadísticamente ligada al incremento de compuestos nitrogenados como los nitratos, debido que estos incitan que se provea de mayor producción el sistema biótico y en fin con el alimento para los macroinvertebrados.

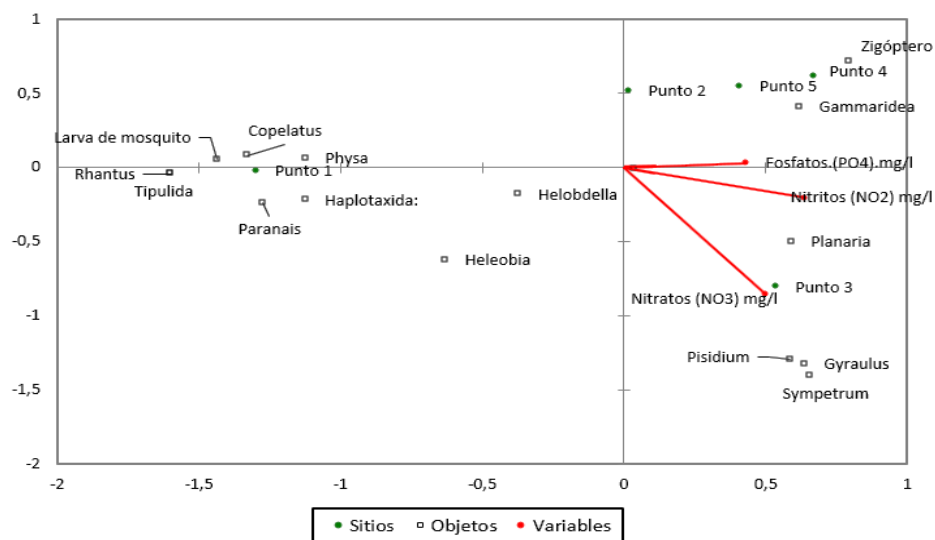


Figura 9. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época lluviosa

Los géneros *Tipulida*, *Copelatus* y *Rhantus* presentaron una correlación positiva con la conductividad eléctrica, es decir que su número aumentó cuando se presentaron altos valores de dicha variable. Estudios realizados en ecosistemas acuáticos semipermanentes y temporales de la Orinoquía en Colombia han determinado que la conductividad eléctrica tiene efectos ecofisiológicos sobre la osmoregulación y la supervivencia de los organismos y es evidente en el caso particular de los macroinvertebrados, debido a que la conductividad eléctrica indica de manera indirecta la salinidad o cantidad de iones disueltos en el agua y está determinada entre otras, por la producción primaria, el grado de descomposición de materia orgánica (Camacho J. y Camacho C., 2010).

El género *Gammaridea* tuvo una correlación positiva con los sulfatos, esta variable infirió en el crecimiento de este género, (Figura 10). Por otra parte, el género *Heleobia* presentó una relación negativa con los sulfatos es decir que, a medida que la concentración de sulfatos es mayor el número de individuos del género *Heleobia* será menor.

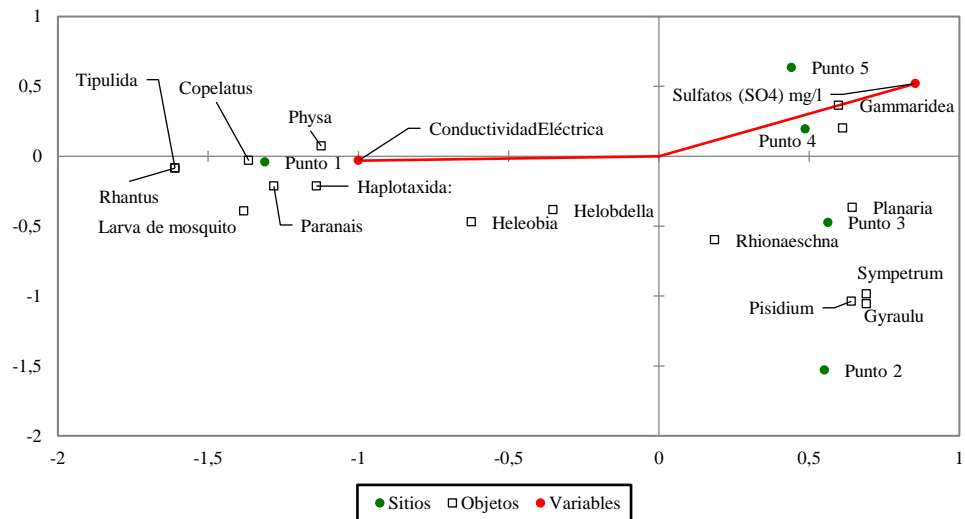


Figura 10. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época lluviosa

- Época seca

La abundancia del género *Pisidium* tuvo una correlación negativa con el pH, es decir que su número disminuyó cuando se presentaron altos valores de dicha variable, (Figura 11). El estudio realizado por Bejarano (1998), sobre Determinación de los parámetros físicoquímicos para la calidad de aguas, señala que los valores adecuados de pH garantizan una capacidad normal de autodepuración y la supervivencia de la mayoría de los organismos acuáticos. Concluyendo así que variaciones de pH afectan directamente la supervivencia de organismos acuáticos dependiendo de su capacidad de adaptación.

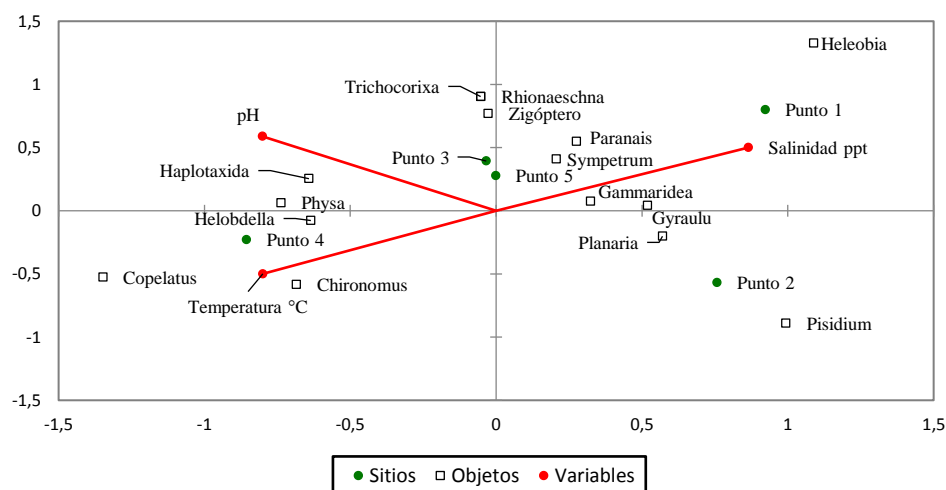


Figura 11. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época seca

Los géneros *Gammaridea*, *Zígóptero*, *Planaria* y *Pisidium* presentaron una correlación negativa con el DQO, es decir que a medida que el DQO, los géneros involucrados tienden a disminuir progresivamente (Figura 12).

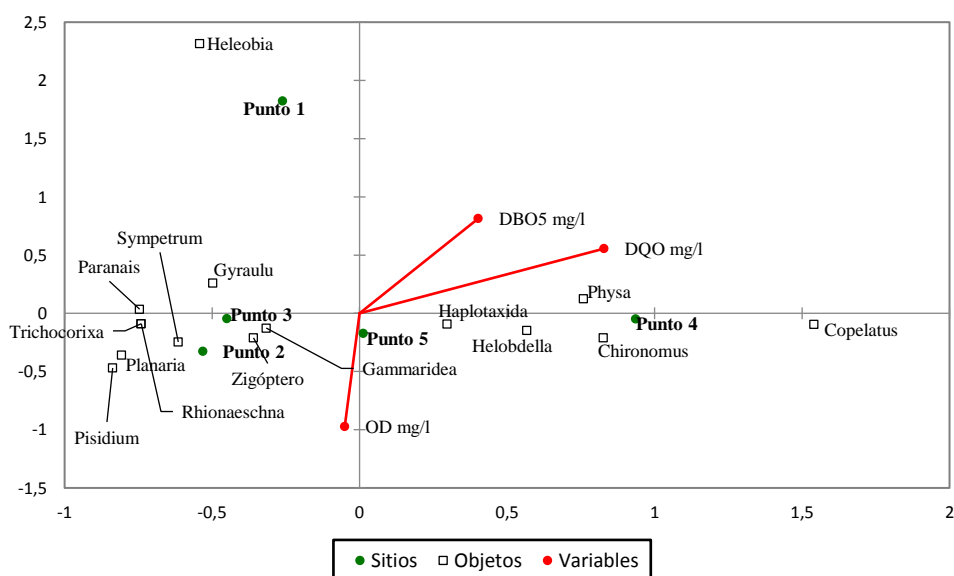


Figura 12. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época seca

Como se muestra en la Figura 13, la abundancia del género *Copelatus* tuvo una correlación positiva con los Nitritos, es decir que su número aumentó cuando se presentaron altos valores de dicha variable. Los géneros *Haplotaxida* y *Helobdella* tuvieron una correlación positiva con los Nitratos, esta variable infirió en el crecimiento de estos géneros, (Figura 13). Estudios afirman que los nitratos son una de las principales fuentes de nitrógeno en los ecosistemas acuáticos, ya que constituyen la fuente principal para los organismos residentes en este medio, además esta es la forma química bajo la cual las algas y las plantas pueden incorporar nitrógeno en su citoplasma y utilizarlo para la síntesis de proteínas (Ramírez y Roldán, 2008).

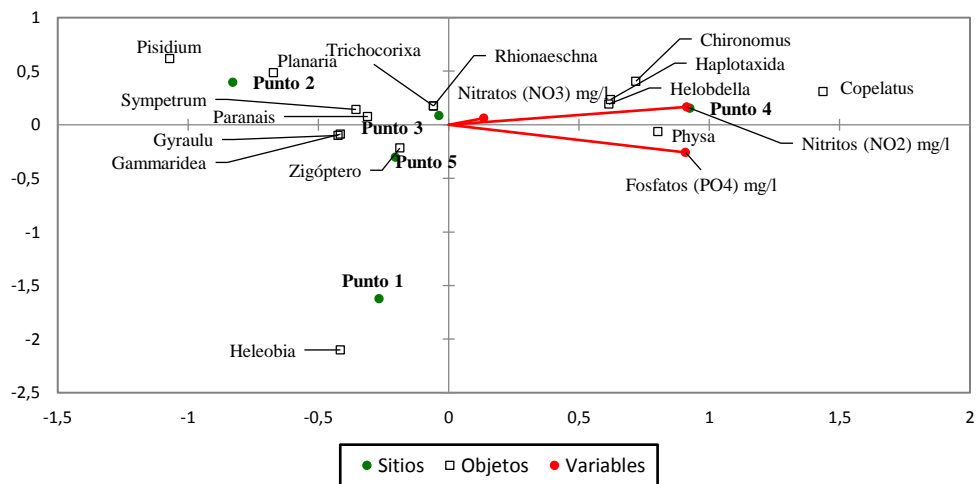


Figura 13. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época seca

Por otro lado, los géneros *Gyraulus* y *Gammaridea* presentaron una correlación negativa con dicha variable, es decir, el número de individuos disminuyó a medida que aumentaba la concentración de Nitratos. La abundancia del género *Sympetrum* presentó una correlación negativa con los fosfatos, su número disminuyó cuando se presentaron altos valores de dicha variable. El incremento y acumulación de fosfatos resulta desencadenar un tipo de contaminación orgánica produciendo la eutrofización de los cuerpos de agua debido al aumento de la producción primaria y al agotamiento del oxígeno disuelto (Ramírez y Roldán, 2008).

Investigaciones similares han concluido que el uso de estos macroinvertebrados, como bioindicadores ecológicos de un metal pesado dentro de un ecosistema contaminado, mejoraría el entendimiento de cómo y porqué dichas especies presentan diferencias en la incorporación de metales esenciales (Gamboa, Reyes y Arivillaga, 2008).

Los géneros *Heleobia* y *Gyraulus* tuvieron una correlación positiva con la conductividad eléctrica, esta variable infirió en el crecimiento de estos géneros, Por otro lado, esta variable se relaciona negativamente con los géneros *Chironomus* y *Copelatus* es decir que a medida que la conductividad eléctrica aumenta los individuos pertenecientes a estos géneros disminuyen.

La abundancia del género *Haplotaxida* tuvo una correlación positiva con los sulfatos, es decir que su número aumentó cuando se presentaron altos valores de dicha variable, mientras que en el caso del género *Psidium* ocurrió lo contrario a medida que los sulfatos aumentan los individuos pertenecientes a este género disminuyeron progresivamente, (Figura 14).

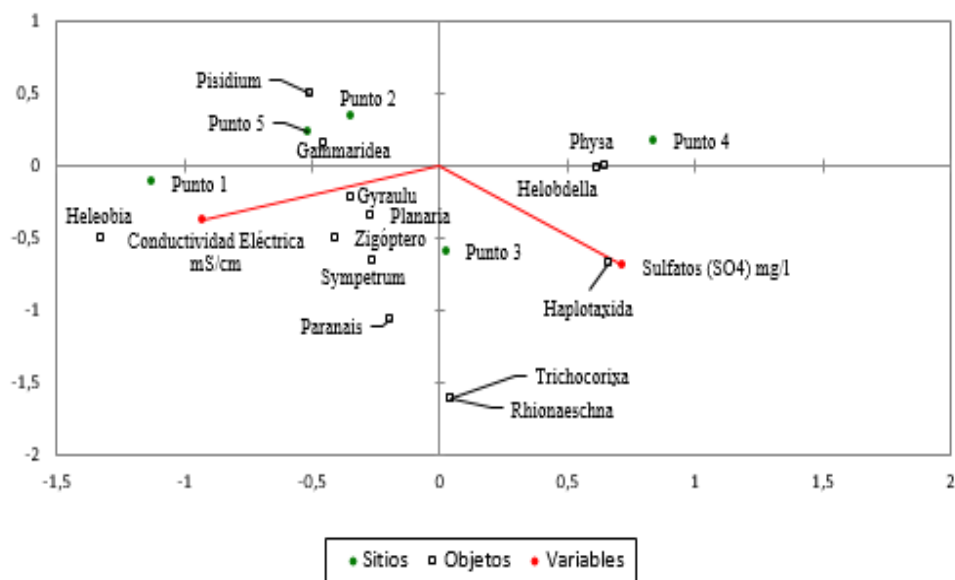


Figura 14. Diagrama de ACC de las interacciones entre géneros y parámetros físico-químicos de la época seca

Se observa que las variables que influyen de manera constante en las especies son la conductividad eléctrica y los sulfatos mismas que presentan una mayor aceptación por el modelo ACC, cabe resaltar que, en las dos épocas del año, dichas variables tienden a relacionarse con la comunidad bentónica del Lago San Pablo.

De acuerdo con el análisis realizado en la época lluviosa y seca, se observa que hay una alta tendencia de aceptación en la hipótesis afirmativa (Las comunidades de macroinvertebrados existentes en el lago San Pablo están relacionadas con las condiciones fisicoquímicas e hidromorfología existentes) al tener 9 variables situadas en el rango habitual ,sin embargo, hay dos variables ambientales (DBO, y Temperatura) que no entran en este rango y son las que menor influencia presentaron en la correlación.

4.4. Guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos de Lagos Altoandinos, en base a los resultados obtenidos en el Lago San Pablo

La guía y plan de monitoreo presentada a continuación fue realizada en base a los resultados obtenidos en la presente investigación, se busca brindar una herramienta práctica para estudios futuros a realizarse en el Lago San Pablo y otros lagos altoandinos, en donde los macroinvertebrados serán los bioindicadores del estado trófico en el que se encuentre, y de esta manera brindar eficacia a la evaluación de condiciones ambientales en Lagos, y de esta manera determinar los impactos de relevancia que afecten el ecosistema y actuar de manera oportuna para la prevención y mitigación de los impactos ambientales presentes.

4.4.1 Justificación de la creación de la guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos

Con las estrategias de monitoreo se procura mejorar el estudio de la comunidad bentónica del Lago, para correlacionar su composición y estructura; dado que toda

actividad antrópica directa o indirecta causa alteraciones que afectan al ambiente y en si al componente biótico. Esta herramienta permitirá una entrada libre de información para alimentar la base de datos existente, con el fin de generar ideas de la situación a la que se está expuesto considerando las actividades que se realizan alrededor y dentro del lago, esperando que a través de este estudio se tome decisiones oportunas para el mejoramiento y control del ecosistema, lo cual ayudara en ingresos optimizando la economía del sector, y buscando la mejora de la visualización del entorno.

4.4.2 Objetivo de la guía y plan de monitoreo

Plantear una herramienta de diagnóstico simple y de bajo costo que sirva de apoyo a las comunidades locales interesadas en conocer el estado de sus ecosistemas acuáticos a fin de tomar medidas de preservación, conservación y remediación.

4.4.3 Determinación de puntos de muestreo y frecuencia que se deben considerar en la toma de muestras

A lo largo del lago San Pablo se desarrollan varias actividades y hechos que están afectando o pueden afectar la calidad del agua; por ejemplo: agricultura, turismo, ganadería, entradas de aguas residuales, basura, desechos de construcciones, entre otras. Se deberá seleccionar las áreas donde suceden las actividades o hechos más graves; y otra donde el agua esté limpia y transparente, tenga cobertura vegetal y especies animales. Esto ayudará a tener una referencia podrá comparar las condiciones del agua. Por esta razón, se ha determinado los puntos que cumplan con estas características y además son sitios convenientes para la toma de muestras que brindarán mayor facilidad en la colecta y toma de muestras, posteriormente a su análisis en laboratorio como se muestra en la Tabla 23.

Tabla 23. Puntos aptos de Muestreo Lago San Pablo

Código de Punto	Coordenadas			Sitio de referencia	Especificación
	Longitud	Latitud	Altitud		
P1	W078°14.290`	N00°12.897`	2679	Primer Muelle	Zona Litoral
P2	W078°14.009`	N00°13.189`	2679	Salida de Agua	Zona Litoral
P5	W078°12.692`	N00°12.620`	2679	Parque Náutico San Pablo	Zona Litoral
P7	W00°12.499`	N00°12.141`	2679	Parque Acuático Araque	Zona Litoral
P8	W078°12.913`	N00°11.850`	2679	Salida Río Itambi	Zona Litoral
P9	W078°13.279`	N00°11.891`	2679	Muelle Cahiviro	Zona Litoral
P10	W078°13.268`	N00°11.888`	2679	Hostería Puerto Lago	Zona Litoral

La frecuencia de muestreo podrá ser realizada en dos épocas del año una lluviosa en los meses marzo a mayo y de octubre a diciembre, ya que se presenta mayores precipitaciones en estos meses mencionados. Mientras que para la época seca los meses con precipitaciones muy bajas son de junio a septiembre, estos meses han sido seleccionados según el diagrama ombrotérmico Lago San Pablo 1980-2015 realizado por Miño y Rodríguez (2018).

4.4.4 Materiales para el monitoreo de macroinvertebrados bentónicos en el Lago San Pablo

Se recomienda utilizar los materiales mencionados en esta investigación en el Capítulo III, sin embargo, en el siguiente cuadro se sintetizó los materiales más relevantes para realizar el monitoreo en el lago San Pablo debido a su fácil accesibilidad y bajo costo (Tabla 24).




Tabla 24. Materiales para el monitoreo de macroinvertebrados en el Lago San Pablo

Materiales para el monitoreo		
<ul style="list-style-type: none"> • Botas de caucho • Pinzas metálicas de punta fina • Frascos plásticos pequeños (según la técnica que se use, pero normalmente uno para cada área donde recoja las muestras). • Alcohol puro, formol, etanol (de acuerdo con el número y tamaño de tarrinas y frascos, aproximadamente un galón) • Lápiz (no se debe usar esferográfico o pluma porque se borra con el alcohol) • Papel para etiquetas • Hojas de campo 1 y 2 para análisis de datos • Lámina de identificación de macroinvertebrados 		
Piedras y hojarasca	Red de patada	Red de arrastre
Esta técnica no requiere más materiales que los señalados arriba.	Red de Patada	Red de arrastre
	Jarra plástica	Jarra plástica
	Balde grande	Bandeja
	Bandeja Cernidor o tamiz	Cernidor o tamiz

4.4.5 Tipos de colectas macroinvertebrados bentónicos

Existen varias técnicas para colectar macroinvertebrados, de todas éstas hemos elegido, por su sencillez y bajo costo las que se dará a conocer a continuación (Tabla 25). Antes de elegir cualquiera de las técnicas, tome en cuenta las condiciones del lago, las facilidades del medio, las posibilidades y habilidades que tenga para elaborar ciertos materiales.

Tabla 25. Métodos de colecta de macroinvertebrados bentónicos en el Lago San Pablo

Hojarasca	Red de Patada	Red de Arrastre
Se buscan macroinvertebrados en las piedras y hojas que se encuentran en el fondo, y en la superficie.	Consiste en atrapar macroinvertebrados, removiendo el fondo del lago. Se llama ‘de patada’ porque mientras uno de los miembros de la pareja da ‘patadas’, removiendo el fondo, la otra coloca la red lago abajo para atraparlos.	Es uno de los instrumentos que mejora un monitoreo de macroinvertebrados, se realiza un arrastre del punto que se considera en varias tomas de muestras. La colecta se ejecuta removiendo el sustrato con la mano o el pie, de forma que los sedimentos que se encuentran en el fondo del ambiente queden en suspensión en la columna de agua, así, con movimiento en zigzag de la red colocada a contracorriente todo el material removido entrará en ella.
		

Una vez recogido el sedimento, salga a la orilla y minuciosamente con las pinzas trate de sacar muestras representativas de macroinvertebradas in situ y coloque en los frascos pequeños con etanol o alcohol etílico 40 %, el resto de sedimento será analizado en el laboratorio, para ello guarde el sedimento en un balde debidamente etiquetado para cada punto, con nombre del punto y día de colecta. Es importante llenar la ficha de campo en cada punto, con los aspectos requeridos.

4.4.6 Conservación de muestras e identificación de especies en laboratorio

Se dispondrá a sacar los macroinvertebrados del sedimento recolectado en los baldes, para un análisis minucioso punto por punto. Las especies se separarán de cada muestra a través de bandejas de vidrio que permitan visualizar los organismos al entrar en reacción con la luz, debido a que son especies de color claro se ven iluminadas al ser reflejadas. Se colocará una pequeña cantidad de sedimento y se procederá a sacar con las pinzas cada uno de los macroinvertebrados encontrados, también si el investigador desea puede tamizar la muestra previamente con un tamiz adecuado que no haga daño o fragmente a la muestra de macroinvertebrados colectada.

Los macroinvertebrados se deben guardar en frascos con alcohol etílico al 40% o etanol para su conservación. No se usa alcoholes más fuertes debido a que ciertas especies pueden desintegrarse. El investigador puede separarlas por género en cada frasco al momento de extraer los macroinvertebrados del sedimento, si no puedo hacerlo al final de la extracción de todos los macroinvertebrados. Luego de ser separado por características similares y posteriormente por géneros se procederá a dar una abundancia relativa a cada especie encontrada en la muestra. Esto ayudará a la aplicación de índices presentados en esta investigación para mayor veracidad.

4.4.7 Guía de macroinvertebrados para la identificación de las respectivas especies

La lista de macroinvertebrados fue elaborada para su identificación, compuesta de las especies más frecuentes que se encontraron en este estudio, todas las fotografías corresponden a especímenes colectados durante el año 2018, con lo cual se consideró varias características:

- La taxonomía de los invertebrados bentónicos colectados es fundamental para su análisis de calidad de aguas, debido a que los índices trabajan con grado taxonómico de familia para su cálculo.
- El nombre común de la especie se considera debido a que por saberes de los habitantes autóctonos suelen referirse a estas especies con nombres diferentes que puede ayudar a la búsqueda de su taxonomía.
- Debe considerarse la clasificación trófica de los macroinvertebrados bentónicos para observar en que rango de la cadena alimenticia se encuentran y abarcar posibles colectas o individuos del área de estudio.
- La fase indicadora del organismo se deberá conocer para el uso de índices bióticos que reflejen la calidad a través de estos bioindicadores.
- La alimentación de cada organismo se deberá conocer debido a que el hábitat no puede ser siempre el mismo, por lo tanto, presenta características diferentes que pueden dar indicios de que organismos pueden ser dominantes en el sector.

Guía de Macroinvertebrados para la Identificación de Especies en el Lago San Pablo, Otavalo, Ecuador		
		
Filo: Arthropoda Orden: Odonata Suborden: Anisoptera Familia: Aeshnidae Género: <i>Rhionaeschna</i> Especie: <i>Marchali</i> Fase indicadora: Indicador biológico Alimentación: Se alimenta de larvas, alevinos de peces e insectos acuáticos de diferente tamaño Clasificación Trófica: Depredador I. S. (Pantle- Buck): 2 Beta-mesosapróbico I. Sensibilidad: Valor 8 I. BMWP: Valor 6 I. ABI: Valor 6	Filo: Mollusca Clase: Gastropoda Orden: Basommatophora Familia: Physidae Género: <i>Physa</i> Especie: <i>sp</i> Nombre común: Caracol Fase indicadora: Indicador biológico Alimentación: Se alimenta de materia orgánica particulada, de detritos, algas y perifiton Clasificación Trófica: Fitófago I. S. (Pantle- Buck): 3 Alfa-mesosapróbico I. Sensibilidad: Valor 3 I. BMWP: Valor 3 I. ABI: Valor 3	Filo: Anélida Clase: Oligochaeta Orden: Haplotaxida Familia: Naididae Género: <i>Paranais</i> Especie: <i>sp</i> Nombre común: Lombriz de fango Fase indicadora: Biológica (directamente proporcional al sedimento). Alimentación: Se alimenta de materia orgánica particulada, de detritos, algas y perifiton u otros organismos. Clasificación Trófica: Recolectores. I. S. (Pantle- Buck): 3 Alfa-mesosapróbico I. Sensibilidad: Valor 1 I. BMWP: Valor 1 I. ABI: Valor 1


		
<p>Filo: Arthropoda</p> <p>Clase: Insecta</p> <p>Orden: Diptera</p> <p>Familia: Ephydriidae</p> <p>Género:</p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Nombre común: <i>Sp no identificada</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Principalmente de materia orgánica, que recoge del sustrato donde se desarrolla.</p> <p>Clasificación Trófica: Recolectores</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 3</p> <p>Alfa-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: No tiene valor</p> <p>I. BMWP: No tiene valor</p> <p>I. ABI: Valor 2</p>	<p>Filo: Annelida</p> <p>Clase: Clitellata</p> <p>Subclase: Hirudinea</p> <p>Orden: Rhynchobdellida</p> <p>Familia: Glossiphoniidae</p> <p>Género: <i>Helobdella</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de tejidos de organismos vivos como moluscos e insectos</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 3</p> <p>Alfa-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 3</p> <p>I. BMWP: Valor 3</p> <p>I. ABI: Valor 3</p>	<p>Filo: Arthropoda</p> <p>Familia: Dytiscidae</p> <p>Clase: Insecta</p> <p>Orden: Coleoptera</p> <p>Suborden: Adephaga</p> <p>Género: <i>Rhantus</i></p> <p>Especie: <i>sp</i> (Larva)</p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de materia orgánica, algas y pequeños invertebrados.</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 1</p> <p>Oligosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: No tiene valor</p> <p>I. BMWP: Valor 9</p> <p>I. ABI: Valor 3</p>

		
<p>Filo: Mollusca</p> <p>Familia: Hydrobiidae</p> <p>Clase: Gastropoda</p> <p>Orden: Neotaenioglossa</p> <p>Género: <i>Heleobia</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de materia orgánica particulada, de detritos, algas y perifiton.</p> <p>Clasificación Trófica: Fitófago</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 2 Beta-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 3</p> <p>I. BMWP: Valor 8</p> <p>I. ABI: Valor 3</p>	<p>Filo: Annelida</p> <p>Clase: Clitellata</p> <p>Subclase: Hirudinea</p> <p>Orden: Rhynchobdellida</p> <p>Familia: Glossiphoniidae</p> <p>Género: <i>Helobdella</i></p> <p>Especie: <i>atli</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de tejidos de organismos vivos como moluscos e insectos</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 3 Alfa-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 3</p> <p>I. BMWP: Valor 3</p> <p>I. ABI: Valor 3</p>	<p>Filo: Arthropoda</p> <p>Clase: Insecta</p> <p>Orden: Coleóptero</p> <p>Familia: Dytiscidae</p> <p>Género: <i>Copelatus</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de materia orgánica, algas y pequeños invertebrados.</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 1 Oligosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: No tiene valor</p> <p>I. BMWP: Valor 9</p> <p>I. ABI: Valor 3</p>

		
<p>Filo: Arthropoda Familia: Dytiscidae Clase: Insecta Orden: Coleoptera Género: <i>Rhantus</i> Especie: <i>sp</i> Fase indicadora: Indicador biológico Alimentación: Se alimenta de materia orgánica, algas y pequeños invertebrados. Clasificación Trófica: Depredador I. S. (Pantle- Buck): 1 Oligosapróbico I. Sensibilidad: No tiene valor I. BMWP: Valor 9 I. ABI: Valor 3</p>	<p>Filo: Arthropoda Familia: Tipulidae Orden: Diptera Género: <i>Tipulida</i> Especie: <i>sp</i> (larva) Fase indicadora: Indicador biológico Alimentación: Se alimentan de larvas de mosquitos y materia orgánica en descomposición Clasificación Trófica: Depredador I. S. (Pantle- Buck): 3 Alfa-mesosapróbico I. Sensibilidad: Valor 3 I. BMWP: Valor 3 I. ABI: Valor 5</p>	<p>Filo: Annelida Clase: Clitellata Subclase: Hirudinea Orden: Rhynchobdellida Familia: Glossiphoniidae Género: <i>Helobdella</i> Especie: <i>sp</i> Fase indicadora: Indicador biológico Alimentación: Se alimenta de tejidos de organismos vivos como moluscos e insectos Clasificación Trófica: Depredador I. S. (Pantle- Buck): 3 Alfa-mesosapróbico I. Sensibilidad: Valor 3 I. BMWP: Valor 3 I. ABI: Valor 3</p>

		
<p>Filo: Anélida</p> <p>Clase: Oligochaeta</p> <p>Familia: Naididae</p> <p>Orden: Haplotaxida</p> <p>Género:</p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Biológica (directamente proporcional al sedimento).</p> <p>Alimentación: Se alimenta de materia orgánica particulada, de detritos, algas y perifiton u otros organismos.</p> <p>Clasificación Trófica: Recolectores.</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 3 Alfa-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 1</p> <p>I. BMWP: Valor 1</p> <p>I. ABI: Valor 1</p>	<p>Filo: Annelida</p> <p>Clase: Clitellata</p> <p>Subclase: Hirudinea</p> <p>Orden: Rhynchobdellida</p> <p>Familia: Glossiphoniidae</p> <p>Género: <i>Helobdella</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de tejidos de organismos vivos como moluscos e insectos</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 3 Alfa-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 3</p> <p>I. BMWP: Valor 3</p> <p>I. ABI: Valor 3</p>	<p>Filo: Annelida</p> <p>Clase: Clitellata</p> <p>Subclase: Hirudinea</p> <p>Orden: Rhynchobdellida</p> <p>Familia: Glossiphoniidae</p> <p>Género: <i>Helobdella</i></p> <p>Especie: <i>elongata</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de tejidos de organismos vivos como moluscos e insectos</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 3 Alfa-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 3</p> <p>I. BMWP: Valor 3</p> <p>I. ABI: Valor 3</p>

		
<p>Filo: Annelida Clase: Clitellata Sub Clase: Hirudinea Orden: Rhynchobdellida Familia: Glossiphoniidae Género: <i>Helobdella</i> Especie: <i>sp</i> Fase indicadora: Indicador biológico Alimentación: Se alimenta de tejidos de organismos vivos como moluscos e insectos Clasificación Trófica: Depredador I. S. (Pantle- Buck): 3 Alfa-mesosapróbico I. Sensibilidad: Valor 3 I. BMWP: Valor 3 I. ABI: Valor 3</p>	<p>Filo: Mollusca Clase: Bivalvia Subclase: Heterodonta Orden: Veneroida Suborden: Sphaeriacea Familia: Sphaeriidae Orden: Verenoida Género: <i>Pisidium</i> Especie: <i>amnicum</i> Fase indicadora: Indicador biológico Alimentación: Se alimenta de algas y materia orgánica particulada Clasificación Trófica: Fitófago I. S. (Pantle- Buck): 3 Alfa-mesosapróbico I. Sensibilidad: No tiene valor I. BMWP: Valor 4 I. ABI: Valor 3</p>	<p>Filo: Arthropoda Subfilo: Crustacea Clase: Malacostraca Orden: Amphipoda Suborden: Gammaridea Familia: Gammaridae Género: <i>Helobdella</i> Especie: <i>sp</i> Fase indicadora: Indicador biológico Alimentación: Pueden ser filtradores (probablemente el modo más frecuente) o ramoneadores (raspan la superficie de algas, rocas y conchillas). Clasificación Trófica: Filtradores I. S. (Pantle- Buck): 2 Beta-mesosapróbico I. Sensibilidad: No tiene valor I. BMWP: No tiene valor I. ABI: No tiene valor</p>

		
<p>Filo: Platyhelminthes</p> <p>Clase: Rhabditophora</p> <p>Familia: Planariidae</p> <p>Orden: Tricladida</p> <p>Género: <i>Planaria</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de materia orgánica en descomposición, pequeños artrópodos y anélidos.</p> <p>Clasificación Trófica: Fitófago, descomponedor</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 2</p> <p>Beta-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: No tiene valor</p> <p>I. BMWP: Valor 7</p> <p>I. ABI: No tiene valor</p>	<p>Filo: Mollusca</p> <p>Clase: Gastropoda</p> <p>Orden: Basommatophora</p> <p>Familia: Planorbidae</p> <p>Género: <i>Gyraulus</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Nombre común: caracoles de agua</p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Estos organismos por lo general se alimentan de vegetales, detritos o del perifiton que cubre sustratos duros en ríos, lagos y lagunas.</p> <p>Clasificación Trófica: Fitófago</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 3</p> <p>Alfa-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 3</p> <p>I. BMWP: Valor 5</p> <p>I. ABI: Valor 3</p>	<p>Filo: Arthropoda</p> <p>Familia: Libellulidae</p> <p>Orden: Odonata</p> <p>Suborden: Anisoptera</p> <p>Género: <i>Sympetrum</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de larvas, alevinos de peces e insectos acuáticos de diferente tamaño</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 2</p> <p>Beta-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 8</p> <p>I. BMWP: Valor 6</p> <p>I. ABI: Valor 6</p>

		
<p>Filo: Arthropoda</p> <p>Familia: Coenagrionidae</p> <p>Orden: Odonata</p> <p>Suborden: Zígóptero</p> <p>Género: <i>Ischnura</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de larvas, alevinos de peces e insectos acuáticos de diferente tamaño</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 2</p> <p>Beta-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 8</p> <p>I. BMWP: Valor 2</p> <p>I. ABI: Valor 6</p>	<p>Filo: Arthropoda</p> <p>Clase: Arachnida</p> <p>Orden: Trombidiformes</p> <p>Familia: Arrenuridae</p> <p>Género: <i>Arrenus</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de materia orgánica vegetal en descomposición</p> <p>Clasificación Trófica: Fitófago</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 2</p> <p>Beta-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: No tiene valor</p> <p>I. BMWP: Valor 6</p> <p>I. ABI: No tiene valor</p>	<p>Filo: Arthropoda</p> <p>Clase: Insecta</p> <p>Orden: Diptera</p> <p>Familia: Chironomidae</p> <p>Género: <i>Chironomus</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Nombre común: Larva de mosquito</p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimentan de larvas de mosquitos y materia orgánica en descomposición</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 4</p> <p>Polisapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 2</p> <p>I. BMWP: Valor 2</p> <p>I. ABI: Valor 2</p>

		
<p>Filo: Annelida</p> <p>Clase: Clitellata</p> <p>Subclase: Hirudinea</p> <p>Orden: Rhynchobdellida</p> <p>Familia: Glossiphoniidae</p> <p>Género: <i>Helobdella</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de tejidos de organismos vivos como moluscos e insectos</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 3</p> <p>Alfa-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: Valor 3</p> <p>I. BMWP: Valor 3</p> <p>I. ABI: Valor 3</p>	<p>Filo: Arthropoda</p> <p>Clase: Insecta</p> <p>Orden: Hemiptera</p> <p>Suborden: Heteroptera</p> <p>Familia: Corixidae</p> <p>Género: <i>Trichocorixa</i></p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimenta de materia orgánica particulada, de detritos, algas y algunas larvas.</p> <p>Clasificación Trófica: Fitófago</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 2</p> <p>Beta-mesosapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: No tiene valor</p> <p>I. BMWP: Valor 7</p> <p>I. ABI: Valor 5</p>	<p>Filo: Arthropoda</p> <p>Clase: Insecta</p> <p>Familia: Syrphidae</p> <p>Orden: Diptera</p> <p>Género:</p> <p>Especie: <i>sp</i></p> <p>Fase indicadora: Indicador biológico</p> <p>Alimentación: Se alimentan de larvas de mosquitos y materia orgánica en descomposición</p> <p>Clasificación Trófica: Depredador</p> <p>I. S. (Pantle- Buck): 4</p> <p>Polisapróbico</p> <p>I. Sensibilidad: No tiene valor</p> <p>I. BMWP: No tiene valor</p> <p>I. ABI: Valor 1</p>

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La comunidad bentónica del Lago San Pablo está distribuida en 15 órdenes, 18 familias, 20 géneros y un total de 9536 individuos de macroinvertebrados bentónicos. Estas comunidades bentónicas se distribuyen dentro de la zona litoral, de lo cual se obtuvo conjuntamente en la época seca y lluviosa.
- Los resultados de los índices de biodiversidad presentaron bajos grados de dominancia para las dos épocas, la familia con mayor número de individuos es Gammaridae y el orden Rhynchobdellida presenta mayor riqueza.
- El resultado del índice de saprobiedad presentó un valor de 2.54 caracterizado en α -mesosapróbico que refleja contaminación orgánica fuerte, considerándose así un lago en estado mesotrófico.
- Los resultados del índice de sensibilidad determinaron que las familias Aeshnidae y Coenagrionidae presentan gran sensibilidad a cambios del ambiente, se obtuvo un valor de 28 dentro del rango de mala calidad.
- Los resultados de los índices bióticos (Sensibilidad, BMWP/Col y ABI) brindaron un mismo valor de 64 y 52 respectivamente, reflejando que la calidad del agua está ligeramente contaminada.
- En la interpretación del análisis de correspondencias canónico 9 de las 11 variables físico-químicas influyeron de manera constante en las especies siendo las más significativas la conductividad eléctrica y los sulfatos

mientras que la temperatura y DBO no presentaron ninguna relación con los macroinvertebrados bentónicos.

- La guía y plan de monitoreo de macroinvertebrados bentónicos tiene como propósito ser utilizados como una herramienta para el estudio y conservación de lagos altoandinos.

5.2 Recomendaciones

- Se debería realizar monitoreos de macroinvertebrados bentónicos en otros lagos de Ecuador en la zona 1 a fin de obtener más información, con énfasis en la taxonomía de las especies acuáticas y así realizar una guía o un posible índice que valore la calidad de lagos.
- Con los datos generados por el equipo VLIR-UTN, se debería tener un control minucioso de las actividades deportivas que infieran o se relacionen directamente con el lago San Pablo.
- Deben realizarse, además de los estudios de las poblaciones bentónicas, monitoreo constante de todas las variables físico-químicas de la zona y análisis microbiológicos del agua, para poderlos correlacionar con los resultados obtenidos.
- Realizar estudios con los datos generados de las correlaciones de macrobentos con parámetros físico-químicos a nivel de género y especie.
- Socializar la guía y plan de monitoreo propuesta en la presente investigación a los miembros de las comunidades aledañas al lago San Pablo, a fin de que sirva como una herramienta de conservación y protección para el ecosistema lacustre.

REFERENCIAS

- Acosta, R., Ríos, B., Rieradevall, M. y Prat, N. (2009). Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnetica*, 28 (1), 35-64.
- Acosta, R., Hampel, H., González, H., Mosquera, P., Sotomayor, G. y Galarza, X. (2014). *Protocolo de evaluación de la calidad biológica de los ríos de la región austral del Ecuador*. Cuenca: ETAPA EP. SENAGUA- DHS Universidad de Cuenca. Programa PROMETEO de la SENESCYT.
- Acosta, R. y Hampel, H. (2015). *Informe final del proyecto: Evaluación del estado ecológico y Biodiversidad de macroinvertebrados bentónicos en la cuenca alta del río Paute y Parque Nacional El Cajas*. Cuenca: ETAPA EP. SENAGUA- DHS.
- Alba, J., Pardo, I., Prat, N. y Pujante, A. (2005). *Metodología para el establecimiento el Estado Ecológico según la directiva marco del Agua*. Confederación Hidrográfica del Ebro, España.
- Alonso, A. y Camargo, J. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los Ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*, 14(3), 87-99.
- Alonso, A. (2006). Valoración del efecto de la degradación ambiental sobre los macroinvertebrados bentónicos en la cabecera del río Henares. *Ecosistemas*, 15(2), 1-5.

Arcos, I. (2005). Efecto del ancho los ecosistemas riparios en la conservación de la calidad del agua y la biodiversidad en la microcuenca del río Sesesmiles, Copán, Honduras. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica.

Ariza, C. (2016). Determinación de la Calidad de Agua a través de la Identificación de Macroinvertebrados Acuáticos en la Microcuenca Arroyo La Quebrada, Departamento de la Guajira, Colombia. *Scientific International Journal*, 13(2), 10-15.

Arroyo, A. (2010). *Uso de Macroinvertebrados en la Evaluación de la Calidad de Agua en las Vertientes Administradas por EMAPA-I* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Arroyo J. y Encalada D. (2010). *Evaluación de la calidad del agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano*. (Tesis de Pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador.

Baladrón, A., Rivero, C., Encinas, A. y Ortega, J. (2001) . Acumulación de impactos en ecosistemas fluviales: degradación del rio Perales y su entorno a su paso por la urbanización Cerro Alarcón (Madrid). Departamento de Medio Ambiente. Universidad Europea de Madrid.

Bejarano, C. (1998). Determinación de los parámetros fisicoquímicos para la calidad de aguas: significado e importancia. *Contaminacion Ambiental*, 7-22.

- Bolaños, J., Cordero, G. y Segura, G. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha*, 30 (4),15-27.
- Burneo P. y Gunkel G. (2003). Ecology of a high Andean stream, Rio Itambi, Otavalo, Ecuador. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 33(1), 29-43.
- Cadena, L. (2005). *Macroinvertebrados Acuáticos como Organismos Indicadores de la calidad de agua entrte caserio Ingueza y la ciudad El Ángel* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Calidad de aguas para estudiantes de Ciencias Ambientales. Universidad distrital Francisco José De Caldas. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Bogotá.
- Camacho, J y Camacho, C. (2010). Aspectos sobre la historia natural de macroinvertebrados en esteros semipermanentes de la altillanura en el departamento de Casanare. *Orinoquia*, 14(1), 71-82.
- Cárdenas, J. (2005). Calidad de aguas para estudiantes de Ciencias Ambientales. Universidad distrital Francisco José De Caldas. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Bogotá.
- Carpenter, S., Caraco, N., Correll D., Howarth R., Sharpley A. y Smith, V. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Issues in Ecology*, 3(1).

- Carrera, C. y Fierro, K. (2011). *Manual de monitoreo: los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de la calidad de agua*. Quito: Ecociencia.
- Carrera, D., Guevara, P., Crisanto, T. y Maya, M. (2015). Relación entre la composición química inorgánica del agua, la precipitación y la evaporación en la cuenca del Río Grande, *Enfoqueu*, 6(1), 2-5.
- Chapman, D. (1996). Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. *Chapman Hill*. 1, 626-651.
- Chang, J. (2005). Limnología. Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil.
- Chapman, D. y Kimstach, V. (1996). Selection of water quality variables. *Water Quality Assessments-University Press*. Cambridge, 59-125.
- Chung, K. (2001). Adaptabilidad ecofisiológica de organismos acuáticos tropicales a cambios de salinidad. *Biología Tropical*, 49 (1), 9-13.
- Cisterna, P. y Peña, D. (2004). Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región. *Ingeniería Química.*, 1-18.
- Código Orgánico del Ambiente (COA). (2017). Registro Oficial Suplemento n°983.
- Comisión Administradora del Río Uruguay. (2011). *Protocolo para mediciones “in situ” de la calidad de aguas y extracción de muestras de agua en la desembocadura del río Gualeguaychú, en el río Uruguay*. Montevideo: Comisión Administradora del Río Uruguay.

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Quito: Registro Oficial 449.
Ecuador

Coronel, B. y Jiménez, P. (2010). *Estudio de la calidad del agua del Río Jatunyacu sector Cascada de Peguche, utilizando macro invertebrados y diseño de un plan de monitoreo comunitario*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Darrigran, G., Vilches, A., Legarralde, T. y Damborenea, C. Guía para el estudio de macroinvertebrados. Métodos de colecta y técnicas de fijación. Buenos Aires, Argentina.

Dodson, S., Arnott S. y Cottingham K.(2000). The relationship in lake communities between primary productivity and species richness. *Ecology*, 81(10),2662-2679.

Doughty, R. (1994). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 4(1), 92-96.

Encalada, A., Rieradevall, M., Ríos, B., García N. y Prat, N., (2011). *Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos CERA-S*. Quito: USFQ, UB, AECIB, FONAG.

Endara, A. (2012). Identificación de macroinvertebrados bentónicos en los ríos: Pindo Mirador, Alpayacu y Pindo Grande; determinación de su calidad de agua. *Enfoque UTE*, 3(2), 33 - 41.

Escaleras, H. (2016). *Determinación de la calidad de agua utilizando como bioindicadores macroinvertebrados bentónicos en el lago de Yahuarcocha*,

Provincia de Imbabura. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas.

Fernández, H., Romero, F., Vece, M., Manzo, V., Nieto, C. y Orce, M. (2002). Evaluación de tres índices bióticos en un río subtropical de montaña (Tucumán - Argentina). *Limnetica*, 21(2), 1-13.

Gamboa, M., Reyes, R. y Arivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Malariología y Salud Ambiental*. 48(2).

Granados, J., Barragán, P., Trejo, R. y Martínez, M. (2017). Macroinvertebrados bentónicos de dos lagos de alta montaña en el Estado de Morelos, México. *Revista Intropica*, 12(1), 41 - 53.

Greenacare, M. (2008). *Análisis de correspondencias canónico*. Universidad Pompeu Fabra, Madrid-España: Fundación BBVA.

Gómez N., Donato C., Giorgi, A., Guash H. y Sabater S. (2009). La biota de los ríos: los microorganismos autótrofos. En Elosegí, A., y Sabater, S. (Eds.) *Conceptos y Técnicas en Ecología Fluvial*. Bilbao: Fundación BBVA.

González, J. (1980). Los diagramas bioclimáticos. *MAINA*, 2(4), 4-9.

González, S., Ramírez, Y., Meza, A. y Días L. (2009). Diversidad de macroinvertebrados acuáticos y calidad de agua de quebradas abastecedoras

del municipio de Manizales. *Boletín científico centro de museos. Museo de Historia Natural*. 16 (2), 135 – 148.

Guevara, A. (1996). *Métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua*. Lima-Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.

Gunkel, G. y Casallas, J. (2002). Limnology of an equatorial high mountain lake- Lago San Pablo, Ecuador: The significance of deep diurnal mixing for lake productivity. *Revista Limnológica*. 32(1).

Gunkel, G. (2003). Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Revista de Biología Tropical*. 51(2).

Gullo, B. (2014). Biodiversidad de Hirudinea en ambientes dulceacuícolas serranos (Provincia de Buenos Aires), Argentina. *Revista del Museo de la Plata*, 23(181), 1-11.

Hargeby, A. (1990). Efectos del pH, sustancias húmicas e interacciones animales sobre la supervivencia y el estado fisiológico de *Asellus aquaticus* y *Gammarus pulex*., 82(3),348-354.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2015). *Anuario meteorológico* N° 52. Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.

Jacobsen, R. y Forbes V. (1997). Variación clonal en los rasgos de la historia de vida y tasas de alimentación en el gasterópodo, *Potamopyrgus antipodarum*: rendimiento a través de un gradiente de salinidad. *Ecología Funcional* ,11, 260-267.

- Krueger, C y Waters, F., (1983). Annual Production of macroinvertebrates in three streams of different water quality. *Ecology*, 64, 840-850.
- Kolkwitz, G. y Marrson, M. (1908). Okologie der pflanzlichen Saprobien. Bericht der Deutschen Botanischen Gessellschaft, 26, 505-519.
- Lampert, W., y Sommer, U. (2007). The Ecology of Lakes and Streams *Limnoecology*, 2.
- Lange, E. (1994). *Manual para el Análisis Simple de la Calidad del Agua*. Ámsterdam: IWT Productions.
- Leiva, M. 2004. Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua en la cuenca del estero Peu Peu comuna de Lautaro IX Región de la Araucanía. (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Temuco, Araucanía, Chile.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamientos del Agua. (2015). Quito: Registro Oficial 305. Ecuador.
- López, M. y Madroñero, S. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso Laguna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21-42.
- López, J., Vásquez, V., Gómez, L. y Priego, G. (2010). Humedales. *Atlas Natural del Estado de Veracruz*, 229-248.

- Ludeña, I. y Rojas, V. (2014). *Diferencias de las características físicas, químicas y biológicas de dos lagunas de diferente edad y formación, de la sierra sur del Ecuador*.(Tesis de pregrado). Universidad de Azuay, Cuenca.
- Marín, M., (2003). *Fisicoquímica y Microbiología de los medios acuáticos*. Madrid, España: Díaz de Santos.
- Medina, A. y Sotomayor, L. (2013) *Evaluación de la Eutrofización de la Laguna Conococha*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional “Santiago Antúnez De Mayolo, Perú.
- Metcalf, A. y Eddy, J. (1996). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización.. *McGraw-Hill/Interamericana S.A, 1*.
- Moreira, J. y Sabando, B. (2016). *Determinación del nivel de eutrofización del embalse Sixto Duran Ballén mediante índices de estado trófico* .(Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.
- Miliarium, (2005). Índices biológicos de calidad de aguas. *Prontuario, 1*(3).
- Miño, C. y Rodríguez, J. (2018). *Evaluación del Estado Trófico en Relación al Comportamiento de los Parámetros Físicos y Biológicos del Lago San Pablo, Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Molina, C., Gibon, F., Pinto, J. y Rosales, C. (2008). Estructura de Macroinvertebrados Acuáticos en un Río Altoandino de la Cordillera Real, Bolivia. *Ecología Aplicada, 7*(1).

- Mogollón, J., Ramírez, A., García, B. y Bifano, C. (1993). Uso de los parámetros Físico - Químicos de las aguas fluviales como indicadores de influencias naturales y antrópicas. *Interciencia*, 18(5).
- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza, España: Manuales y Tesis SEA.
- Moreno, D., Quintero, J. y López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *Contactos*, (78), 25–33.
- Moreta, J., (2008) *La eutrofización de los lagos y sus consecuencias*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte.
- Moya, N., Gibon, F., Oberdorff, T., Rosales, C. y Domínguez, E. (2009). Comparación de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos intermitentes y permanentes del altiplano boliviano: implicaciones para el futuro cambio climático. *Ecología Aplicada*, 8(2), 105-114.
- Muñoz, M. y Vélez, I. (2007). Redescrición y algunos aspectos ecológicos de *Girardia tigrina*, *G. cameliae* y *G. paramensis* (Dugesiidae, Tricladida) en Antioquia, Colombia. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(2), 291-301.
- Orth, K. (2008). Catchment management and mining impacts in arid and semi-arid South. *Caminar*, 1(6).
- Oseguera, A., Alcocer, J. y Escobar, E. (2016). Macroinvertebrados bentónicos de dos lagos tropicales de alta montaña en el volcán Nevado de Toluca, en la región central de México. *Hidrobiológica*, 26(3).

- Ospina, B., Estévez, V., Jaime, V., Betancur, J. y Realpe-Rebolledo E. (2004). Estructura y composición de la comunidad de macro invertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia turneri* Baker (Bromeliaceae) en un bosque alto andino colombiano. *Acta zoológica mexicana*, 20(1), 153-166.
- Pazmiño, N. (2016). *Caracterización físico química, biológica e hidromorfológica del río Itambi como afluente el lago San Pablo, Imbabura-Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad de las Américas, Quito, Ecuador.
- Palma, C. y Arana, J. (2014). Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú / Departamento de Limnología, Departamento de Ictiología -- Lima: Ministerio del Ambiente Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Museo de Historia Natural.
- Peña, S., Rubalcaba, C. y Novo, F. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba), 5
- Portilla, K. (2017). *Evaluación del Comportamiento de los Parámetros Físicos del Agua, para determinar el estado trófico Del lago Yahuarcocha, Provincia Imbabura.*(Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- Quirós, R. (2000). La eutrofización de las aguas continentales de Argentina. *El Agua en Iberoamérica: acuíferos, lagos y embalses*, 43–47.
- Raffo., E. y Ruiz E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Diseño y Tecnología. *Facultad de Ingeniería Industrial*. 17(1).

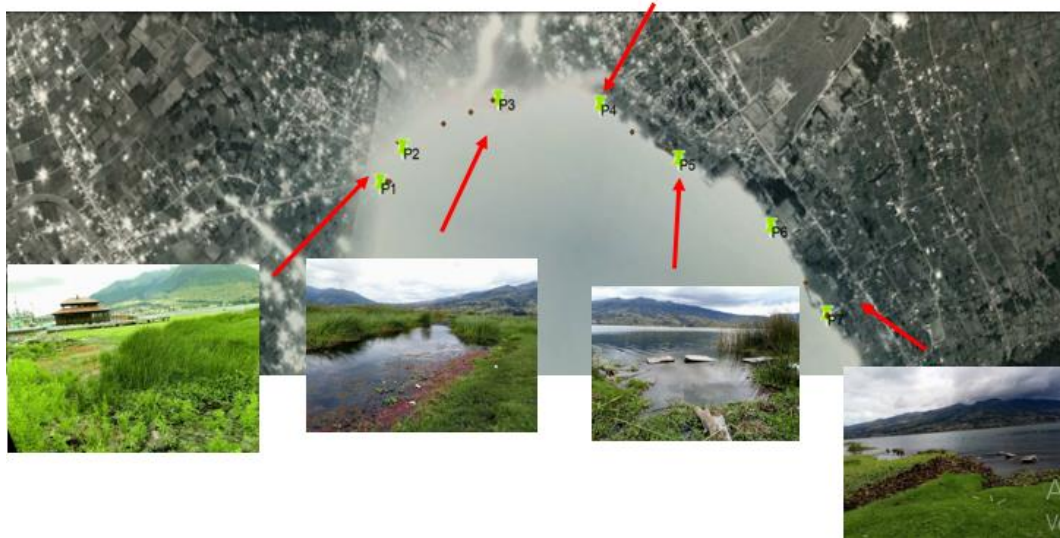
- Ramalho, R. (2003). Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona: España, Editorial Reverté, S.A
- Ramírez, J. (2000). Fitoplancton de agua dulce. Bases ecológicas, taxonómicas y sanitarias. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia. 1 – 198.
- Ramirez., J. y Roldán., G. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia, Universidad Católica de Oriente y Academia Colombiana de Ciencias. ACCEFYN.
- Ramsar. (2014). La importancia de los humedales. Recuperado el 5 de noviembre de 2017.
- Ríos, B., Acosta, R. y Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Rev Biol Trop*, 62(5), 249-273.
- Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad de agua. *Ecología*, 23(88), 375-387.
- Ríos, C. Mutshke, E. y Morrison, E. (2003). Biodiversidad bentónica sublitoral en el estrecho de Magallanes, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 38 (1), 1-12.
- Roldán, G. (2003). *Bioindicación de la calidad del Agua en Colombia*. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Rosero, D. y Fossati, O. (2009). Comparación entre dos índices bióticos para conocer la calidad del agua en ríos del páramo de Papallacta. Fondo para la Protección del Agua, FONAG. Instituto para el Desarrollo y la Investigación.

- Santillán, S. y Guerrero, A. (2018). Macroinvertebrados y fitoplancton como bioindicadores de contaminación en la cuenca del río Chicama, Perú. *Tecnología en Marcha*. 31 (4), 97-110.
- Sawyer, R. (1986). Biología y comportamiento de las sanguijuelas. Alimentación, biología, ecología y sistemática. Oxford University Press, 1(3), 419-793.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida.
- Segnini, S.(2003). El uso de los Macroinvertebrados Bentónicos como Indicadores de la Condición Ecológica de los Cuerpos de Agua Corriente. *Ecotrópicos*, 16, 45-63.
- Segnini, S. y Chacón, M. (2005). Caracterización fisicoquímica del hábitat interno y ribereño de los ríos andinos en la cordillera de Merida. *Ecotropicos*, 18 (1).
- Terneus, J. (2014). Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador. Escuela de Biología Aplicada, Universidad Internacional del Ecuador,121-131.
- Texto Unificado Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). (2015). Quito: Registro Oficial Edición Especial n° 387. Ecuador.
- Toledo, M. (2015). *Determinación de la Calidad del Agua Mediante el uso de Macroinvertebrados Acuáticos como Bioindicadores en la Microcuenca del Río Chimborazo*". (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

- Vásquez, M. y Medina, C. (2014). Calidad de agua según los macroinvertebrados bentónicos y parámetros físico-químicos en la microcuenca del río Tablachaca (Ancash, Perú). *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*. 35(2), 75-89.
- Vives, J. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros físicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos)*. Colombia: Cargraphics.
- Yáñez, S. (2018). *Evaluación de la Contaminación del Agua mediante Parámetros Físico Químicos en las Desembocaduras de los Principales Afluentes y efluente del Lago San Pablo, Provincia de Imbabura*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Yaguachi, T. (2013). *Diagnóstico Ambiental y Desarrollo del Plan de Manejo y conservación de la Subcuenca del Río Chillayacu de la cuenca medio del Río Jubones en la provincia del Oro*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador.
- Yépez, A., Yépez, A., Urdánigo, J., Morales, D., Guerrero, N. y TayHing, C. (2017). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología*, 10(1), 27-34.

ANEXOS

Anexo 1. Puntos de muestreo de Lago San Pablo.



Anexo 2. Familias y Géneros de macroinvertebrados encontrados en el Lago San Pablo

Familia	Género	Abundancia	Frecuencia Relativa %
<i>Aeshnidae</i>	<i>Rhionaeschna</i>	75	0,786493289
<i>Arrenuridae</i>	<i>Arrenus</i>	1	0,010486577
<i>Chironomidae</i>	<i>Chironomus</i>	117	1,22692953
<i>Coenagrionidae</i>	<i>Ischnura</i>	24	0,251677852
<i>Corixidae</i>	<i>Trichocorixa</i>	22	0,230704698
<i>Dytiscidae</i>	<i>Rhantus</i>	3	0,031459732
<i>Dytiscidae</i>	<i>Copelatus</i>	12	0,125838926
<i>Dytiscidae</i>	<i>Rhantus</i>	3	0,031459732
<i>Ephydriidae</i>	<i>Sp no identificada</i>	16	0,167785235
<i>Gammaridea</i>	<i>Gammaridea</i>	5347	56,07172819
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	14	0,146812081
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	143	1,499580537
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	2	0,020973154
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	13	0,136325503
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	94	0,985738255
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	197	2,065855705
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	23	0,241191275
<i>Hydrobiidae</i>	<i>Heleobia</i>	467	4,897231544
<i>Libellulidae</i>	<i>Sympetrum</i>	40	0,419463087
<i>Naididae</i>	<i>Paranais</i>	47	0,492869128
<i>Naididae</i>	<i>Haplotaxida:</i>	134	1,405201342
<i>Physidae</i>	<i>Physa</i>	1562	16,38003356
<i>Planariidae</i>	<i>Planaria</i>	105	1,101090604
<i>Planorbidae</i>	<i>Gyraulu</i>	800	8,389261745
<i>Sphaeriidae</i>	<i>Pisidium</i>	272	2,852348993
<i>Syrphidae</i>		1	0,010486577
<i>Tipulidae</i>	<i>Tipulida</i>	2	0,020973154
Total		9536	100

Anexo 3. Individuos encontrados época lluviosa en el Lago San Pablo

ÉPOCA LLUVIOSA												
Taxa	Lago	SAN PABLO										TOTAL
	Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Aeshnidae</i>		5	5	7	20	1		8		7	5	58
<i>Physidae</i>	<i>Physa</i>	445	4	32	187	28	30	28	6	89	58	907
<i>Naididae</i>	<i>Paranais</i>	12					16	2				30
<i>Ephydriidae</i>	<i>Sp no identificada</i>	9	1				6					16
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	14										14
<i>Dytiscidae</i>	<i>Rhantus</i>	3										3
<i>Hydrobiidae</i>	<i>Heleobia</i>	4		28	86	11		3				132
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	17			1	9						27
<i>Dytiscidae</i>	<i>Copelatus</i>	8							1			9
<i>Dytiscidae</i>	<i>Rhantus</i>	2										2
<i>Tipulidae</i>	<i>Tipulida</i>	1					1					2
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	2										2
	<i>Haplotaxida:</i>	77			2		12	16	4			111
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	10					1	2				13
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>		4		2	13		22				41
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>		2		9	5	1	5	12	7	18	59
<i>Sphaeriidae</i>	<i>Pisidium</i>	2	3		30	2	1	86				124
	<i>Gammaridea</i>		28	63	347	350		251	300	448	1762	3549
<i>Planariidae</i>	<i>Planaria</i>		1		4	3	2	13	1	6	1	31
<i>Planorbidae</i>	<i>Gyraulu</i>		7	68	150	10		207				442
<i>Libellulidae</i>	<i>Sympetrum</i>			18	10			3				31
	<i>Zigóptero</i>			1	6			1	6		3	17
<i>Arrenuridae</i>	<i>Arrenus</i>										1	1
<i>Chironomidae</i>	<i>Chironomus</i>											0
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>										2	2
<i>Corixidae</i>	<i>Trichocorixa</i>											0
<i>Syrphidae</i>							1					1
TOTAL		611	55	217	854	432	71	647	330	557	1850	5624

Anexo 4. Individuos encontrados época seca Lago San Pablo

ÉPOCA SECA												
Taxa	Lago	SAN PABLO										TOTAL
	Punto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Aeshnidae</i>				8				7			2	17
<i>Physidae</i>	<i>Physa</i>	17		107	47	230	8	53	154	28	11	655
<i>Naididae</i>	<i>Paranais</i>	1	3				1	12				17
<i>Ephydriidae</i>	<i>Sp. No</i> <i>identificada</i>											0
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>											0
<i>Dytiscidae</i>	<i>Rhantus</i>											0
<i>Hydrobiidae</i>	<i>Heleobia</i>	36	5	23	7	250	2	12				335
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>		4			11			101			116
<i>Dytiscidae</i>	<i>Copelatus</i>			1					2			3
<i>Dytiscidae</i>	<i>Rhantus</i>			1								1
<i>Tipulidae</i>	<i>Tipulida</i>											0
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>											0
	<i>Haplotaxida:</i>							6	5		12	23
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>											0
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>		13	5	7		8	18	1	1		53
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>	1	1	12	34	14		23	15	21	17	138
<i>Sphaeriidae</i>	<i>Pisidium</i>	2	94	7	4	22		18		1		148
<i>Gammaridea</i>	<i>Gammaridea</i>	23	121	349	486	236	85	86	33	134	245	1798
<i>Planariidae</i>	<i>Planaria</i>		26	13	1		8	26				74
<i>Planorbidae</i>	<i>Gyraulu</i>	10	25	44	76	66	3	123	7		4	358
<i>Libellulidae</i>	<i>Sympetrum</i>		1	2				3		1	2	9
	<i>Zigóptero</i>			2				1		1	3	7
<i>Arrenuridae</i>	<i>Arrenus</i>											0
<i>Chironomidae</i>	<i>Chironomus</i>		11	7	18	37	5	4	35			117
<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Helobdella</i>						1	15		3	2	21
<i>Corixidae</i>	<i>Trichocorixa</i>							22				22
<i>Syrphidae</i>												0
TOTAL		90	304	581	680	866	121	429	353	190	298	3912

Anexo 5. Análisis del Laboratorio muestras de agua Lago San Pablo

ACU - CHEM

Laboratorio de Análisis Físicos y
Químicos de Aguas

REPORT DE ANALISIS DE AGUAS													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>DATOS DEL SOLICITANTE</th> <th>DATOS DEL SITIO DE MUESTREO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nombre: Srta. Karina Ruiz</td> <td>Provincia: Imbabura</td> </tr> <tr> <td>Ciudad: Ibarra</td> <td>Cantón: Otavalo</td> </tr> <tr> <td>Teléfono:</td> <td>Parroquia: San Pablo</td> </tr> <tr> <td>Fax:</td> <td>Sitio: Lago San Pablo</td> </tr> </tbody> </table>		DATOS DEL SOLICITANTE	DATOS DEL SITIO DE MUESTREO	Nombre: Srta. Karina Ruiz	Provincia: Imbabura	Ciudad: Ibarra	Cantón: Otavalo	Teléfono:	Parroquia: San Pablo	Fax:	Sitio: Lago San Pablo		
DATOS DEL SOLICITANTE	DATOS DEL SITIO DE MUESTREO												
Nombre: Srta. Karina Ruiz	Provincia: Imbabura												
Ciudad: Ibarra	Cantón: Otavalo												
Teléfono:	Parroquia: San Pablo												
Fax:	Sitio: Lago San Pablo												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA</th> <th>DATOS DEL LABORATORIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fecha de muestreo: 19 de diciembre de 2018</td> <td>Nro. Reporte: 82 - 2018</td> </tr> <tr> <td>Codificación: P5 SAN PABLO</td> <td>Tipo de Análisis: Parcial</td> </tr> <tr> <td>Aspecto: Transparente</td> <td>Muestra: Única</td> </tr> <tr> <td>Color Visual: Incolora</td> <td>Fecha de Ingreso: 19 de diciembre de 2018</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Fecha de Reporte: 28 de diciembre de 2018</td> </tr> </tbody> </table>		CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	DATOS DEL LABORATORIO	Fecha de muestreo: 19 de diciembre de 2018	Nro. Reporte: 82 - 2018	Codificación: P5 SAN PABLO	Tipo de Análisis: Parcial	Aspecto: Transparente	Muestra: Única	Color Visual: Incolora	Fecha de Ingreso: 19 de diciembre de 2018		Fecha de Reporte: 28 de diciembre de 2018
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	DATOS DEL LABORATORIO												
Fecha de muestreo: 19 de diciembre de 2018	Nro. Reporte: 82 - 2018												
Codificación: P5 SAN PABLO	Tipo de Análisis: Parcial												
Aspecto: Transparente	Muestra: Única												
Color Visual: Incolora	Fecha de Ingreso: 19 de diciembre de 2018												
	Fecha de Reporte: 28 de diciembre de 2018												

Parámetros Químicos	Unidad	Valor	Método Aplicado
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	22,63	APHA 5520 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	8,4	APHA 5210 B
Fosfatos (PO ₄) ³⁻	mg/l	0,820	HACH 8048
Nitratos (NO ₃) ⁻	mg/l	< 0.1	HACH 8039
Nitritos (NO ₂) ⁻	mg/l	0,140	HACH 8507
Sulfatos (SO ₄) ²⁻	mg/l	5,60	HACH 8051

Verónica Espinoza
Dra. Verónica Espinoza
TECNICO DE LABORATORIO

ACU - CHEM
LABORATORIO DE ANALISIS
FÍSICOS, QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS
DE AGUAS
IBARRA - ECUADOR

Dra. Verónica Espinoza
0989753573

email: acu_chem@hotmail.com
Calle Barahona Mora 1-107 y Eduardo Guevara Fomaca
Ibarra - Ecuador

Misión:
Brindar Atención Ágil, Personalizada, Eficiente y Efectiva en la Demanda Analítica de Aguas, Ofreciendo Tecnología de Punta y Responsabilidad al
Servicio del Cliente.

Anexo 6. Trabajo de campo y en laboratorio.



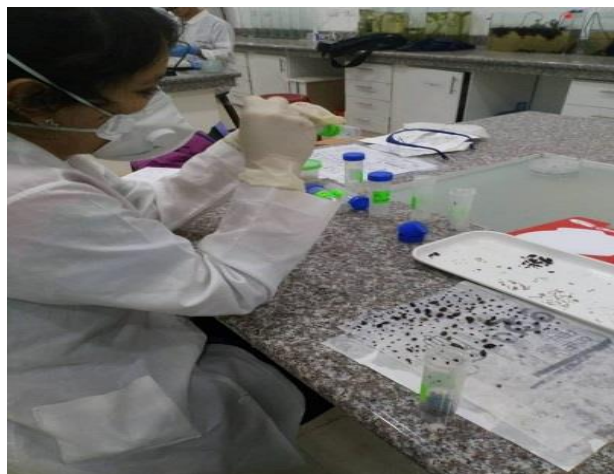
Fotografía 1. Muestreo con red de arrastre.



Fotografía 2. Colecta de macroinvertebrados



Fotografía 3. Toma de parámetros físico químicos con sensor sumergible múltímetro YSI



Fotografía 4. Identificación en Laboratorio